

MODERN RESEARCH: TRANSPORT INFRASTRUCTURE AND INNOVATION TECHNOLOGIES



**III INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND PRACTICAL
CONFERENCE FOR APPLICANTS FOR HIGHER EDUCATION,
OF EDUCATION WORKERS AND SCIENTISTS
28-29 November 2024**

Volume 2

KYIV 2024

Proceedings Of III International Scientific and Practical Conference for Applicants for Higher Education, of Education Workers and Scientists " MODERN RESEARCH: TRANSPORT INFRASTRUCTURE AND INNOVATION TECHNOLOGIES" 28-29 November 2024 Kyiv, UKRAINE

Volume 2

The conference is held according to the plan of the Ministry of Education and Science of Ukraine for 2024 and is registered with the State Scientific Institution “Ukrainian Institute of Scientific and Technical Information (№ 589, December 20, 2023)”.

ORGANIZERS

1. Ministry of Education and Science of Ukraine.
2. Kyiv Institute of Railway Transport of the State University of Infrastructure and Technologies, Ukraine.
3. Volodymyr Dahl East Ukrainian National University, Ukraine.
4. University of Žilina, Country Slovak Republic.
5. University of Warmia and Mazury in Olsztyn, Faculty of Technical Sciences, Poland.
6. Technical University of Koszalin, Koszalin, Poland
7. Tafila Technical University, Jordan.
8. The Institute of Power Engineering, Moldova.

The collection of conference materials is a scientific and practical publication, which contains scientific articles of students, graduate students, candidates and Doctors of Science, scientists and practitioners from Ukraine, Europe and other countries. Articles contain researches of modern innovative processes in science. The collection is intended for approbation of scientific research by bachelors, masters, graduate students, doctoral students, teachers and scientific researchers, as well as to expand the scientific horizons of researchers from relevant fields of knowledge and inform a wide range of scientists and practitioners about the existing modern problems in various fields.

The materials are presented in the author's edition

The conference was held by the Kyiv Institute of Railway Transport of the State University of Infrastructure and Technology (Ukraine)

М А Т Е Р І А Л И

III Міжнародної науково-практичної конференції здобувачів вищої освіти, викладачів та науковців «СУЧАСНІ ДОСЛІДЖЕННЯ: ТРАНСПОРТНА ІНФРАСТРУКТУРА ТА ІННОВАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ»

28-29 листопада 2024 р., м.Київ

Частина 2

Конференція проводиться за планом Міністерства освіти і науки України 2024 року та зареєстрована у Державній науковій установі «Український інститут науково-технічної інформації (УкрІНТЕІ за № 589 від 20.12.2023р.

Сучасні дослідження: транспортна інфраструктура та інноваційні технології: Матеріали III Міжнародної науково-практичної конференції здобувачів вищої освіти, викладачів та науковців 28-29 листопада 2024р. м. Київ, вид-во: Київський інститут залізничного транспорту Державного університету інфраструктури та технологій, реєстр. УкрІНТЕІ №589 від 20.12.2023, 2024.Ч.2, 376с.

Голова оргкомітету конференції:

Губаревич О.В. – к.т.н., доцент кафедри електромеханіки та рухомого складу залізниць Київського інституту залізничного транспорту Державного університету інфраструктури та технологій

Відповідальний секретар конференції:

Муравйов В.М. – к.ф.-м.н., доцент кафедри «Системи штучного інтелекту та телекомунікаційні технології» Київського інституту залізничного транспорту Державного університету інфраструктури та технологій

До електронного збірника увійшли матеріали досліджень, поданих до III Міжнародної науково-практичної конференції здобувачів вищої освіти, викладачів та науковців «СУЧАСНІ ДОСЛІДЖЕННЯ: ТРАНСПОРТНА ІНФРАСТРУКТУРА ТА ІННОВАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ», яка організована Київським інститутом залізничного транспорту Державного університету інфраструктури при підтримці Міністерства освіти і науки України.

Електронне наукове видання призначено для апробації наукових досліджень бакалаврів, магістрів, аспірантів, докторантів, викладачів та наукових співробітників, а також для розширення наукового кругозору дослідників з транспортної та суміжних галузей знань, інформування широкого кола вчених та практиків щодо існуючих сучасних проблем у транспортній галузі та розвитку міжнародної співпраці.

Матеріали подано в авторській редакції

© КІЗТ Державний університет інфраструктури та технологій, 2024

ЗМІСТ
TABLE OF CONTENTS

Секція 3: УПРАВЛІННЯ ТРАНСПОРТНО-ЛОГІСТИЧНИМИ СИСТЕМАМИ	
Section 3: MANAGEMENT OF TRANSPORT AND LOGISTICS SYSTEMS.....	19
<i>Безушко О. Є., М Хилько І. І.</i> ВИКОРИСТАННЯ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ ДЛЯ ОПТИМІЗАЦІЇ ТРАНСПОРТНО-ЛОГІСТИЧНИХ ПРОЦЕСІВ В УКРАЇНІ USE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE FOR OPTIMIZATION OF TRANSPORT AND LOGISTICS PROCESSES IN UKRAINE.....	19
<i>Виноградов О.С.</i> ВПЛИВ УПРАВЛІННЯ РИЗИКАМИ НА ДІЯЛЬНІСТЬ ТРАНСПОРТНО-ЛОГІСТИЧНИХ СИСТЕМ THE IMPACT OF RISK MANAGEMENT ON THE ACTIVITIES OF TRANSPORT AND LOGISTICS SYSTEMS.....	22
<i>Вільшанюк М.І., Вільшанюк М.С.</i> ОРГАНІЗАЦІЯ ПЕРЕВЕЗЕННЯ ЗЕРНА В КОНТЕЙНЕРАХ ORGANIZATION OF GRAIN TRANSPORTATION IN CONTAINERS....	25
<i>Войченко Т.О., Радченко О.А.</i> ВПРОВАДЖЕННЯ КОНЦЕПЦІЇ СТАЛОГО РОЗВИТКУ ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ СИСТЕМ НА ОСНОВІ ESG - АНАЛІЗУ IMPLEMENTATION OF THE CONCEPT OF SUSTAINABLE DEVELOPMENT OF TRANSPORT AND TECHNOLOGICAL SYSTEMS BASED ON ESG – ANALYSIS.....	29
<i>Галькевич М.В.</i> ПЕРСПЕКТИВИ ЕКОНОМІЧНОГО РОЗВИТКУ ЛОГІСТИЧНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ УКРАЇНИ PROSPECTS FOR ECONOMIC DEVELOPMENT OF THE LOGISTICS INFRASTRUCTURE OF UKRAINE.....	34
<i>Гриценко Н.В.</i> СУЧАСНИЙ ПІДХІД ДО УПРАВЛІННЯ В ТРАНСПОРТНІЙ ЛОГІСТИЦІ СПРЯМОВАНИЙ НА СТВОРЕННЯ ІНТЕГРОВАНИХ СИСТЕМ THE MODERN APPROACH TO MANAGEMENT IN TRANSPORT LOGISTICS IS DIRECTED TO THE CREATION OF INTEGRATED SYSTEMS.....	38
<i>Добровольський О.В.</i> ІНТЕГРАЦІЯ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ В МІСЬКУ ТРАНСПОРТНУ СИСТЕМУ В УКРАЇНІ: ВИРІШЕННЯ ПРОБЛЕМ МОБІЛЬНОСТІ	

INTEGRATION OF RAILWAY TRANSPORT INTO THE URBAN TRANSPORT SYSTEM IN UKRAINE: SOLVING MOBILITY CHALLENGES	43
<i>Зікрач В.О., Коротков В.В., Марков Р.Д., Ткачук Ю.В., Примаченко Г.О.</i> ДОСЛІДЖЕННЯ ТРИВАЛОСТІ ДОСТАВКИ ВАНТАЖІВ ЗАЛІЗНИЧНИМ ТРАНСПОРТОМ STUDY OF THE DURATION OF CARGO DELIVERY BY RAIL TRANSPORT.....	49
<i>Майданюк В.В., Сиволап Н.В., Торопов Б.І.</i> ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ВДОСКОНАЛЕННЯ КОНТЕЙНЕРНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ ШЛЯХОМ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ РУХОМОГО СКЛАДУ RESEARCH AND IMPROVEMENT OF CONTAINER TRANSPORTATION BY INCREASING THE EFFICIENCY OF ROLLING STOCK UTILIZATION.....	53
<i>Мордига В.О., Морнева М.О.</i> ПРОБЛЕМИ ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ВИРОБНИЦТВА ЕЛЕКТРИЧНОЇ ТА ТЕПЛОВОЇ ЕНЕРГІЇ PROBLEMS OF INCREASING THE ENERGY EFFICIENCY OF ELECTRICITY AND THERMAL ENERGY PRODUCTION.....	56
<i>Петрик С.В., Шульдінер Ю.В.</i> ОПТИМІЗАЦІЯ МУЛЬТИМОДАЛЬНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ ДЛЯ БЕЗПЕРЕБІЙНОЇ ДОСТАВКИ КАКАО БОБІВ В УМОВАХ ГЛОБАЛЬНИХ ЛОГІСТИЧНИХ ВИКЛИКІВ OPTIMIZATION OF MULTIMODAL TRANSPORTATION FOR SEAMLESS DELIVERY OF COCOA BEANS IN THE CONTEXT OF GLOBAL LOGISTICS CHALLENGES.....	59
Секція 4: ВІДНОВЛЮВАНА ЕНЕРГЕТИКА, ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ ТА ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ Section 4: RENEWABLE ENERGY, ENERGY SAVING AND ENERGY EFFICIENCY.....	62
<i>Бележинський О.Ю.</i> ПЕРСПЕКТИВНІ ШЛЯХИ ЗМЕНШЕННЯ ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ МЕТРОПОЛІТЕНУ PROMISING ROUTES FOR CHANGES IN ENERGY SUPPLY TO THE METRO.....	62
<i>Богуславський Д.С., Каращук В.О.</i> ВИКОРИСТАННЯ АЛЬТЕРНАТИВНИХ ВИДІВ ПАЛИВА ДЛЯ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ THE USE OF ALTERNATIVE FUELS FOR VEHICLES.....	68
<i>Большак А.В., Бондар О.І.</i> ВИКОРИСТАННЯ СУЧАСНИХ НАПІВПРОВІДНИКІВ ДЛЯ ЗМЕНШЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ВТРАТ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ У СИЛОВИХ КОЛАХ ЕЛЕКТРОВОЗІВ	

USING OF MODERN SEMICONDUCTORS FOR REDUCING TECHNOLOGICAL LOSSES OF ELECTRICAL ENERGY IN POWER CIRCUITS OF ELECTRIC LOCOMOTIVES.....	71
Бондар О.І. ШЛЯХИ ПОКРАЩЕННЯ ПОКАЗНИКІВ ЯКОСТІ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ ПРИ МОДЕРНІЗАЦІЇ ЛІНІЙ ДПР WAYS OF IMPROVING ELECTRICITY QUALITY INDICATORS DURING THE MODERNIZATION OF TWR LINES.....	74
Буряк С.Ю., Гололобова О.О. АНАЛІЗ ФАКТОРІВ ВПЛИВУ НА ТЕРМІН СЛУЖБИ АКУМУЛЯТОРІВ ANALYSIS OF FACTORS INFLUENCE ON BATTERY LIFE.....	78
Гаман Ю.С., Шавьолкін О.О. ГІБРИДНА СИСТЕМА ЕНЕРГОПОСТАЧАННЯ ТВАРИННИЦЬКОЇ ФЕРМИ З ВИКОРИСТАННЯМ ВІДНОВЛЮВАЛЬНИХ ДЖЕРЕЛ, ГАЗОВОГО ГЕНЕРАТОРА ТА ЕЛЕКТРОТРАНСПОРТУ HYBRID POWER SYSTEM WITH RENEWABLE ENERGY SOURCES, GAS GENERATOR AND ELECTRIC VEHICLES FOR LIVESTOCK FARM.....	83
Дауд В., Вакарчук С. ГАЗОВИЙ ПАЛЬНИК ТИПУ "ДАВА" З РЕЖИМОМ ЗМІННОГО НАВАНТАЖЕННЯ NATURAL GAS COMBUSTION TYPE "DAVA" WITH VARIABLE LOAD FUNCTIONS.....	86
Захарченко Л.Л., Тихонов І.В. ВИКОРИСТАННЯ ЕНЕРГІЇ ВІТРУ, ЯК СПОСІБ ЗМЕНШЕННЯ ВИКІДІВ ПАРНИКОВИХ ГАЗІВ: АНАЛІТИКА ТА УЧАСНИКИ РИНКУ USE OF WIND ENERGY AS A WAY TO REDUCE GREENHOUSE GAS EMISSIONS: ANALYTICS AND MARKET PARTICIPANTS.....	92
Іванов К.І., Чернишенко Є.Г., Рябов Є.С. АНАЛІЗ НАПРЯМІВ ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ МОТОРВАГОННОГО ЕЛЕКТРОРУХОМОГО СКЛАДУ ANALYSIS OF AREAS FOR IMPROVING THE ENERGY EFFICIENCY OF MULTIPLE UNIT ELECTRIC ROLLING STOCK.....	96
Костиця М.В., Кошель Н.Д., Корнач С.В., Костиця В.В. ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЄМНОСТІ ЕЛЕКТРОДІВ АКУМУЛЯТОРНИХ СИТЕМ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ INCREASING THE ENERGY CAPACITY OF ELECTRODES OF BATTERY SYSTEMS OF VEHICLES.....	99
Курепін В.М. ЕНЕРГІЯ ПРИЛИВІВ - ЧИСТА ЕНЕРГІЯ ДЛЯ ЛЮДСТВА TIDAL ENERGY - PURE ENERGY FOR HUMAN LIVES.....	102

АНАЛІЗ ФАКТОРІВ ВПЛИВУ НА ТЕРМІН СЛУЖБИ АКУМУЛЯТОРІВ

Буряк С.Ю. – к.т.н., доц., докторант, ser.buryak@gmail.com
Гололобова О.О. – к.т.н., асистентка, Gololobova_Oksana@i.ua
Науково-навчальний інститут
«Дніпровський інститут інфраструктури і транспорту»
Українського державного університету науки і технологій
Україна, м. Дніпро

ANALYSIS OF FACTORS INFLUENCE ON BATTERY LIFE

Buriak S.YU. – Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Doctoral Student,
ser.buryak@gmail.com
Gololobova O.O. – Candidate of Engineering Sciences, Assistant,
Gololobova_Oksana@i.ua
Scientific and educational institute
"Dnipro Institute of Infrastructure and Transport"
Ukrainian State University of Science and Technologies
Ukraine, Dnipro

Abstract. *The wide application of batteries makes their lifecycle prognosis a challenging and hot topic in the battery management research field. Feature extraction is a key step for the lifetime prognostics of batteries, which takes a significant effect on the accuracy of performance prognosis. The state of charge of a battery depends on many parameters. Their discharge and charge curves represent a nonlinear process that depends both on the battery's own chemical processes and on its operating parameters. The battery's own effects that introduce nonlinearity are self-discharge, degradation, hysteresis, etc. The operating parameters on which the discharge curve depends are the discharge current, battery temperature, number of discharge cycles, charging conditions, etc. The main reasons that lead to irreversible degradation of the battery and deterioration of its performance characteristics are considered. Recommendations are given for maintaining high performance indicators over the longest period of use.*

Keywords: *battery, service life, degradation, charge, capacity reduction, operating recommendations*

Актуальність дослідження зумовлена необхідністю надання загальних рекомендацій щодо оптимізації застосування хімічних накопичувачів електричної енергії. Слід зазначити, що з плином часу актуальність даної теми тільки збільшується через широту розповсюдження, різноманітність використання та постійно зростаючий попит на дані елементи живлення.

Метою роботи є проведення аналізу терміну служби акумуляторних батарей, який визначається сумарною тривалістю їх експлуатації та зберігання. Термін служби акумуляторів – це їхнє напрацювання, загальна кількість циклів заряду/розряду, при вичерпанні якого акумулятори знижують розрядну ємність до певного, регламентованого технічною документацією рівня.

Час життя акумуляторних батарей, крім їх електрохімічного складу, залежить від таких факторів, як глибина розряду, режим заряду та температури акумулятора, пов'язаної з умовами його експлуатації та зберігання. Термін служби акумуляторів також залежить і від обладнання, в якому вони використовуються.

Як правило, при низьких температурах зниження розрядної ємності акумуляторів значно більше, ніж при підвищених. Під час зберігання акумуляторів різного електрохімічного складу спостерігається процес мимовільного розряду, що відображається на частковій втраті ємності. Різні типи батареї мають різну часову інтенсивність саморозряду при зберіганні – він визначається хімічним складом джерел струму, термодинамічних властивостей електродів, забрудненням електроліту та матеріалу електродів. Відсоток саморозряду акумулятора при зберіганні обчислюється порівнянням ємності, що віддається джерелом струму при його первинній експлуатації, і ємності, що віддається акумулятором після його тимчасового простоювання на зберіганні.

Процес саморозряду хімічних джерел струму найінтенсивніший на початковому етапі їх зберігання. Літій-іонні акумулятори відрізняються низьким саморозрядом, тривалим терміном життя, великою питомою ємністю. Літій – ідеальний матеріал для створення акумуляторів, один з найлегших металів, що відрізняються високим електрохімічним потенціалом та забезпечує найвищу щільність енергії. При створенні батареї літій не використовується в чистому вигляді, замість нього в них є іони, що переміщуються між катодом і анодом акумулятора при зарядах і розрядах. Термін зношування акумуляторних чарунок визначається при зниженні їх ємності до 80% від початкової. Однак, на практиці акумулятори з ємністю менше 80% продовжують і надалі працювати, хоча час тривалості цієї роботи суттєво знижується. Послідовний заряд/розряд акумуляторів призводить до зниження активного матеріалу електрода та зміни його хімічного складу, що зрештою веде до підвищення внутрішнього опору та зниження ємності.

Зниження ємності може спостерігатись і при зберіганні акумулятора (коли він не експлуатується). Так, найбільша швидкість зниження ємності літій-полімерного акумулятора відбувається при високих температурах. Тому зберігати літій-полімерні акумулятори краще зарядженими на 40-50% при температурі 5°C. Явище саморозряду властиве всім типам акумуляторів. Для оцінювання рівня саморозряду чи величини втраченої ними з часом ємності використовуються відсотки від значення, одержуваного відразу після завершення зарядного процесу. В одних акумуляторів допустимий саморозряд протягом доби після закінчення заряду (наприклад, нікель-кадмієвих), у випадку з іншими саморозряд оцінюється за місяць (літій-іонний акумуляторні

батареї). Вплив температури зберігання на рівень саморозряду акумуляторів можна показати на простому прикладі. Саморозряд герметичних свинцево-кислотних акумуляторів SLA AGM при 20 °C становить 40% на рік і 15% при 5 °C.

Підвищення температури спричиняє збільшення інтенсивності саморозряду SLA AGM акумуляторів. Так, при зберіганні в особливо спекотних умовах можлива втрата 40-50% ємності за 4-5 місяців. Саморозряд акумуляторних батарей пояснюється процесом виділення кисню на позитивному електроді. У разі підвищення температури виділення кисню посилюється. Однак, незважаючи на те, що ступінь саморозряду значною мірою залежить від температурного фактора, приписувати це явище виключно йому теж не варто. Безпосередньо впливає на саморозрядний процес і якість матеріалів, що використовуються в акумуляторі, особливості його конструктивного виконання. Втрати ємності в акумуляторах умовно можна розділити на дві групи: оборотні та необоротні.

Необоротні втрати енергії є неминучими, але їх можна знизити завдяки дотриманню правил заряду, розряду, зберігання акумуляторів, а також рівномірності розподілу навантаження під час експлуатації. Застосування циклів роботи з неповним розрядом дозволяє значно збільшити термін служби акумуляторів. Потрібно відзначити ще один момент, що стосується терміну служби акумуляторів. Якщо технічна документація певного типу акумуляторів, наприклад SLA AGM, фіксує 500 циклів їх заряду/розряду, то це число говорить не про те, що дане хімічне джерело струму можна заряджати лише 500 разів, а вказує на те, що весь процес експлуатації (підживлення) акумулятор складається з п'ятисот циклів повного заряду/розряду.

Тобто, якщо двічі зарядити свинцево-кислотний акумулятор SLA AGM на 50%, то в сумі обидва рази утворюють лише один повний цикл заряду/розряду акумуляторної батареї. При 30% глибині циклів розряду їх кількість відповідно втричі. Усі виробники акумуляторних батарей розраховують термін їхнього життя кількістю циклів повного розряду – до 0%.

Запобігання передчасному старінню акумуляторів (продовженню терміну їхнього життя) сприяє низка факторів.

1) Неповний розряд. Використання неповної ємності акумулятора перед заряджанням істотно збільшує кількість циклів життя. При неглибоких розрядах акумулятор прослужить значно довше. Багаторазовий розряд акумуляторів до напруги, що знаходиться нижче рівня, що регламентується технічною документацією, призводить до швидкого виходу батарей з ладу. Винятком є акумулятори, що мають так званий "ефект пам'яті" (наприклад, нікелеві акумулятори).

2) Уникнення заряду до 100% ємності (у випадку з літій-іонними: літій-полімерний, літій-залізо-фосфатними акумуляторами). Зниження кінцевої зарядної напруги дозволяє збільшити час експлуатації хімічного джерела струму.

3) Вибір правильного зарядного пристрою. Акумулятори не люблять перевантажень, тому заряджати їх потрібно обмеженою потужністю і обов'язково підходящим зарядним пристроєм. Підвищення напруги заряду лише на кілька відсотків може призвести до істотного скорочення циклу служби акумулятора, тим часом зниження струму спричинить недозаряд батареї. Слід відмітити також і те, що процес повільної підзарядки та планомірної розрядки корисніший для батарей, ніж робота в інтенсивному режимі.

4) Обмеження температури акумулятора. Необхідно дотримуватися температурного режиму експлуатації, що рекомендується, уникати зарядки при мінусовій температурі. Будь-який тип акумуляторних батарей заряджати потрібно лише за позитивних температур. Потрібно уникати перегрівання або переохолодження акумуляторів, оскільки надто низька або висока температура негативно відображаються на їхньому житті.

5) Обмеження зарядних та розрядних струмів. Високі зарядні та розрядні струми знижують кількість циклів роботи акумулятора. Великий струм сприяє виникненню надмірної механічної напруги в акумуляторній батареї.

6) Запобігання дуже глибоким розрядам. Дуже глибокий розряд досить швидко може зіпсувати акумулятор. Якщо повного розряду акумулятора запобігти не вдалося, потрібно якнайшвидше зарядити його хоча б на 40% ємності.

7) Зберігання акумуляторів у частково зарядженому стані. Акумуляторним батареям властивий саморозряд. Рівень розряду безпосередньо пов'язаний з температурою зберігання тому, чим більше вона буде наближена до оптимальної, тим краще буде для самої батареї. Важлива роль збільшення часу життя акумуляторів відводиться зарядним пристроям.

Найкращими є зарядні пристрої з підстроюванням (фіксуванням) зарядної напруги, але і за допомогою пристроїв, що працюють за принципом відсікання мінімального зарядного струму, можна продовжити цикл життя акумуляторів, вибравши рівень струму відсічення. Для збільшення ємності акумуляторні елементи часто з'єднуються в єдину батарею паралельно. Жодних особливих вимог до елементів такого з'єднання не висувається, крім наявності ідентичного хімічного складу, виробника та розмірів. Послідовне з'єднання вимагає більш ретельного підбору, так як розбалансування по ємності спричинить перенапругу на одній з акумуляторних чарунок. Використання акумуляторів на

основі літію неможливе без спеціальної інтелектуальної схеми захисту – BMS, що обмежує напругу заряду та розряду на кожній чарунці, що входить до складу акумулятора. Спеціальні системи управління та балансування (BMS) використовуються, наприклад, у роботі літій-залізо-фосфатних (LiFePO₄) акумуляторних батарей. Системи балансування чарунок захищають акумулятор від перевищення напруги при зарядному процесі, оптимально розподіляють струм між чарунками, контролюють температуру акумулятора, відключаючи його при перегріві, обмежують глибину розряду та струм споживання. BMS забезпечує безпеку роботи літійового акумулятора, зупиняє роботу при перевищенні граничних величин струму і температури.

Висновок. Заявлений виробником термін використання акумулятори можуть прослужити за умови дотримання правильних режимів експлуатації. Дотримуючись всіх вимог батарей, можна максимально продовжити життя акумуляторів, або навпаки суттєво його скоротити.

Л і т е р а т у р а

1. Daniel J. Noelle, Meng Wang, Anh V. Le, Yang Shi, Yu Qiao. Internal resistance and polarization dynamics of lithium-ion batteries upon internal shorting, Applied Energy, Volume 212, 2018, Pages 796-808, ISSN 0306-2619, <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.12.086>.

2. Mohammad A. Hoque, Petteri Nurmi, Arjun Kumar, Samu Varjonen, Junehwa Song, Michael G. Pecht, Sasu Tarkoma. Data driven analysis of lithium-ion battery internal resistance towards reliable state of health prediction, Journal of Power Sources. Volume 513, 2021, 230519, ISSN 0378-7753, <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2021.230519>.

3. Lin Chen, Mo Zhang, Yunhui Ding, Shuxiao Wu, Yijing Li, Gang Liang, Hao Li, Haihong Pan. Estimation the internal resistance of lithium-ion-battery using a multi-factor dynamic internal resistance model with an error compensation strategy. Energy Reports, Volume 7, 2021, Pages 3050-3059, ISSN 2352-4847, <https://doi.org/10.1016/j.egy.2021.05.027>.

4. Rasheed Ibraheem, Calum Strange, Gonçalo dos Reis. Capacity and Internal Resistance of lithium-ion batteries: Full degradation curve prediction from Voltage response at constant Current at discharge. Journal of Power Sources, Volume 556, 2023, 232477, ISSN 0378-7753, <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2022.232477>.

5. Chuanping Lin, Jun Xu, Mingjie Shi, Xuesong Mei. Constant current charging time based fast state-of-health estimation for lithium-ion batteries. Energy, Volume 247, 2022, 123556, ISSN 0360-5442, <https://doi.org/10.1016/j.energy.2022.123556>.

6. Zengkai Wang, Shengkui Zeng, Jianbin Guo, Taichun Qin. State of health estimation of lithium-ion batteries based on the constant voltage charging curve. Energy, Volume 167, 2019, Pages 661-669, ISSN 0360-5442, <https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.11.008>.

7. Chuan Li, Huahua Zhang, Ping Ding, Shuai Yang, Yun Bai. Deep feature extraction in lifetime prognostics of lithium-ion batteries: Advances, challenges and perspectives. Renewable and Sustainable Energy Reviews, Volume 184, 2023, 113576, ISSN 1364-0321, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2023.113576>.