



УДК 621.3

INCREASING THE LIFETIME OF LI-ION BATTERIES AS PART OF SELF-MANUFACTURED TRACTION BATTERIES FOR PORTABLE ELECTRIC VEHICLES

ЗБІЛЬШЕННЯ ТЕРМІНУ ЕКСПЛУАТАЦІЇ LI-ION АКУМУЛЯТОРІВ У СКЛАДІ
ВЛАСНОРУЧ ВИГОТОВЛЕНИХ ТЯГОВИХ БАТАРЕЙ ДЛЯ ПОРТАТИВНОГО
ЕЛЕКТРОТРАНСПОРТУ

Tatarchuk T. V. / Татарчук Т.В.

PhD Tech., associate prof. / к.т.н., доц.

ORCID: 0000-0002-6408-0463

SPIN: 9539-7370

National University «Zaporizhzhia Polytechnic», Zaporizhzhia, Zhukovskoho, 64, 69063

Національний університет «Запорізька політехніка», Запоріжжя, Жуковського, 64, 69063

Seredenko K. A. / Середенко К.А.

student / студент

ORCID: 0009-0008-6363-594X

Slovenská technická univerzita v Bratislave, Bratislava, Vazovova 5, 811 07

Oleksenko O. S. / Олексенко О.С.

student / студент

National University «Zaporizhzhia Polytechnic», Zaporizhzhia, Zhukovskoho, 64, 69063

Національний університет «Запорізька політехніка», Запоріжжя, Жуковського, 64, 69063

Анотація. Під час роботи розглянуто та проаналізувано конструкції тягових батарей для портативного електротранспорту. Виявлено серйозні недоліки, які виробники батарей ретельно приховують. Теоретично доведено неспроможність балансувальних BMS плат запобігати довготривалій дії надструму на елементи.

Наступним завданням нашого дослідження було проектування та виготовлення першої Li-ion батареї, яка за своєю конструкцією була схожа на заводські аналоги. Під час експлуатації батареї практично спостерігалась неспроможність BMS плати регулювати струм заряду.

Проаналізувавши недоліки першого прототипу Li-ion батареї, зробили висновок про його безперспективність. Виготовлення другої Li-ion батареї з урахуванням недоліків попереднього прототипу та її експлуатація не виправдала очікувань авторів. І також вказала на свою безперспективність.

Ключевые слова: Li-ion батареї, балансувальні BMS плати, надструми, термін експлуатації

Вступ.

Стрімкий розвиток суспільства та прогресуюче збільшення населення в межах 20 та 21 століть призвело до відчутних екологічних проблем. Чималу небезпеку для довкілля становлять двигуни внутрішнього згорання (ДВС) та об'єкти промисловості, які є причиною викидів парникових газів. Людство прикладає багато зусиль для вирішення питання глобального потепління. Одним з основних досягнень цивілізації в 21 столітті є початок процесу заміщення ДВС двигунами з нульовою емісією парникових газів, такими як електричні. Електрифікація транспорту є одним з вагомих заходів для подолання кліматичної кризи.

Паралельно з переведенням традиційного транспорту (автомобілі, автобуси, кари, вантажівки) на електротягу спостерігається швидкий розвиток



портативного електротранспорту, такого як: самокати, велосипеди, квадроцикли, карти, скутери, мотоцикли, гіроборди, гіроскутери, моноколеса тощо. Саме про цей перспективний транспорт піде розмова.

Як відомо, основним вузлом електротранспорту є акумуляторна батарея (АБ), яка має обмежену кількість циклів. АБ поступово втрачають ємність, деградує, виходять з ладу і як результат потребують часткової або повної заміни. Найпопулярнішими зараз є батареї з Li-ion елементів стандартизованих розмірів. Існує декілька факторів реалізації ідеї глобальної електрофікації транспорту, а саме:

- забезпечення необхідними ресурсами на довготривалу перспективу (запаси літію, кобальту, нікелю);
- технології видобутку, збагачення та виробництва сировини для Li-ion елементів повинні забезпечувати багаторазову перевагу за викидами парникових газів у порівнянні з експлуатацією транспорту з ДВС;
- впровадження порядку та технологій збирання й переробки відпрацьованих Li-ion елементів з метою економічної привабливості цього процесу;
- застосування зарядних пристроїв та режимів експлуатації батарей орієнтованих на заощадження їх ресурсу (подовження терміну експлуатації).

Ми експлуатуємо декілька одиниць портативного електротранспорту (електровелосипеди, електроквадроцикли) вже понад 10 років, тому питання збереження ємності та подовження терміну експлуатації АБ мене неабияк цікавлять. Ми дослідили та описали всі недоліки сучасних тягових батарей [1,2] для портативного електротранспорту, і дійшли висновку, що ресурс акумуляторів можна значно збільшити при певній конструкції батареї та експлуатаційних заходах. Головне завдання при проектуванні полягало в можливості швидкого та нетрудомісткого розбору батареї для заряду кожного акумулятора окремо. Це дозволило б заряджати кожний елемент до 100% без небезпеки перезаряду, слідкувати за їх станом (внутрішній опір, залишкова ємність після циклу розряду, підтікання електроліту тощо) та при виході з ладу мати можливість швидкої заміни [3].

Чому ми акцентуємо увагу на заміні несправного акумулятора? Наявність несправного елемента призводить до невідворотних негативних змін, які впливають на батарею в цілому. Щоб знайти рішення цієї проблеми, необхідно розібратися в фізичних процесах, що відбуваються в елементі та в батареї.

Неминуча розбіжність таких ключових параметрів, навіть, нових елементів, як ємність та внутрішній опір зумовлюють нерівномірний розподіл зарядного струму та зарядної напруги на елементах батареї. В свою чергу це призводить до системного недозаряду одних елементів та перезаряду інших. Експлуатація батареї за відсутності контролю стану окремих елементів призведе до скорої деградації елементів, які через нетривалий проміжок часу будуть потребувати заміни.

В даній роботі запропоновано конструкцію батареї, яку можна виготовити в умовах домашньої майстерні. Технологія не передбачає використання



високотехнологічного обладнання, інструментів та істотних капіталовкладень. Дослідний зразок у порівнянні з фабричними виробами можна охарактеризувати так:

- менша собівартість;
- ідентичні масо-габаритні показники;
- кращі умови охолодження;
- значно вища пожежна безпека;
- можливість контролю стану елементів, їх заміни та зарядки за нормованими параметрами, що встановлені виробником, тобто обслуговуваність та ремонтпридатність.

Таким чином, метою та завданням даного дослідження є отримати практичне підтвердження збільшення терміну експлуатації літєво-іонних акумуляторів, шляхом застосування певних правил експлуатації на базі власноруч розробленої конструкції АБ, спроектувати та виготовити конструкцію з можливістю оперативного доступу та розбору батареї до рівня окремого елементу.

1. Аналіз недоліків попередніх конструкцій Li-ion батареї

Першим етапом створення макету нової АКБ був детальний аналіз недоліків попередніх конструкцій та шляхів їх уникнення. Основними з них були:

- Незахищеність конструкції батареї від попадання вологи та механічного пошкодження елементів.
- Ненадійність контактних з'єднань елементів, яка призводила до струмового перевантаження елементів.
- Трудомісткість процесу укомплектування батареї елементами.
- Пожежна безпека батареї.
- Ненадійність закріплення АБ на багажнику велосипеда.

Електричні принципово-монтажні схеми першої та другої батареї наведені на рисунках 1 та 2.

Були проаналізовані сильні та слабкі сторони попередніх конструкцій.

1. Перша батарея мала надзвичайно надійні контактні з'єднання (пайка, опресування, різьбове затискання). Проте не мала можливості оперативного контролю стану елементів та їх окремого, контрольованого заряджання.

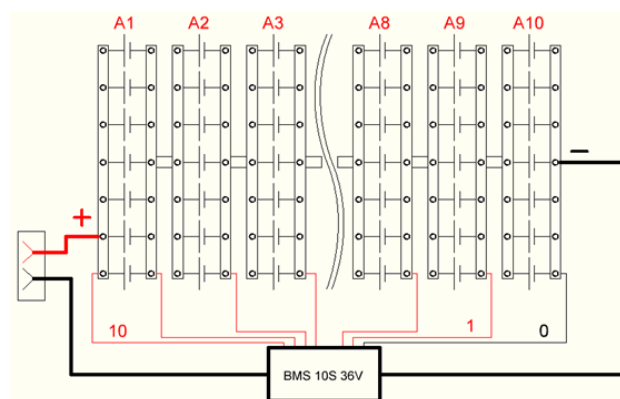


Рисунок 1 – Схема електрична, принципово – монтажна першої батареї

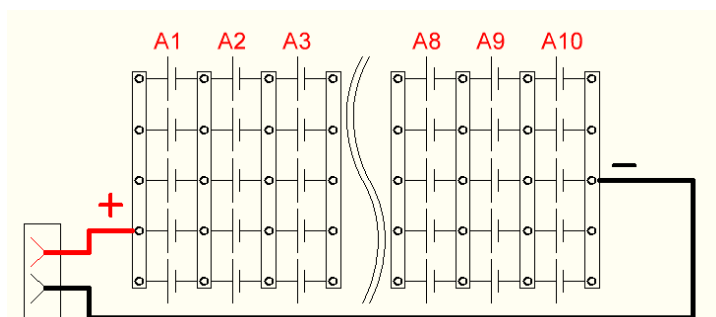


Рисунок 2 – Схема електрична, принципово-монтажна другої батареї

2. Друга батарея мала вкрай незадовільні контактні з'єднання, що приводили до виходу з ладу елементів, проте її розбірний тип дозволяв здійснювати оперативний контроль стану елементів та окреме, контрольоване заряджання.

3. Обидві перші батареї мали незадовільний захист від вологи, бруду, механічних пошкоджень, коротких замикань та велику пожежну небезпеку.

2. Розробка та виготовлення власної Li-ion батареї

Концепцією, здатною задовольнити вищезазначені вимоги здавалася трубчаста конструкція батареї.



Рисунок 3 – Батарея на багажнику велосипеда, задня кришка надіта на шпильки та не притягнута

Була обрана тонкостінна електротехнічна труба, яка використовується для прокладання внутрішньої або зовнішньої електропроводки (виробник: АСКОУКРЕМ, марка SDO-25W). Труба виготовлена із ПВХ пластикату, який не підтримує горіння та самозгасає, має стінку завтовшки 1,4 мм та зовнішній діаметр 25 мм.

В задуманій конструкції під збіркою тепер слід розуміти десять послідовно набраних в трубках елементів (рис. 5 збірки A1-A5). Було вирішено залишити ємність батареї 15 А*год (5 збірок по 3А*год при 36 В), оскільки саме така кількість паралельних збірок унеможливить струмове перевантаження елементів, навіть, при різкому розгоні велосипеда. При номінальній потужності мотор-колеса 350 Вт максимальний струм однієї збірки буде становити близька 2А. Такі струмові навантаження є безпечними для елементів ємністю 3,3 А*год, виготовлених за технологією INR. 50 елементів розташовані в десяти трубках. Пара трубок становить одну збірку. Трубки скріплені у вигляді правильного трикутника (рис. 4).

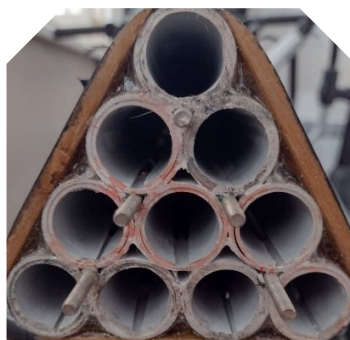


Рисунок 4 – Власна батарея: вид без задньої кришки

Опис конструкції та технології виготовлення

1. Внутрішній діаметр трубки становить 22 мм, діаметр елемента 18 мм. Елементи, набрані безпосередньо в трубку мають неприпустимий люфт, тому було прийняте рішення зменшити діаметр трубок. Для цього за допомогою кутової шліфувальної машинки був зроблений повздовжній пропил шириною близька 5 мм. Нарізані бандажувальні втулки з тієї ж труби та натягнуті на прорізані вздовж трубки. Це дозволило стиснути прорізані трубки та отримати внутрішній діаметр трубчастих збірок на рівні 19 мм. Десять трубок були склеєні між собою акриловим пластичним герметиком на водній основі. При цьому з боку завантаження елементів були вклеєні різьбові шпильки М4 для кріплення контактної кришки. Задля надання необхідної жорсткості конструкції «на кручення» та приховування огріхів нарізання та торцювання трубок по краях приклеєні декоративні дубові рейки. Краї закруглені та зашліфовані на стрічковій шліфмашині. Корпус АБ пофарбований відповідно до багажника велосипеда у чорний колір.

2. Передня кришка виготовлена із двох шарів фанери твердих порід деревини, склеєних між собою. Містить контактні містки з дротової міді, які запресовані в фанеру. Містки з'єднують дві напівзбірки із 5 елементів. Передня кришка наглухо приклеєна до трубчастої конструкції.

3. Задня кришка виготовлена із трьох шарів фанери твердих порід деревини. Розбирається пошарово. В середині шарів (вирізані порожнини) організовані електричні кола, які забезпечують паралельне з'єднання «+» та «-» полюсів збірок. Через зовнішній шар фанери випущені вихідні дроти батареї, які оснащені швидкоз'ємними пружинними затискачами. До затискачів під'єднаний подовжувач зі спеціальним роз'ємом в бік контролера велосипеда. Кришка має наскрізні отвори для шпильок. Для унеможливлення встановлення кришки в неправильній орієнтації отвори для шпильок мають кодове розташування. В бік елементів на кришці закріплені пружини, які забезпечують постійний та надійний контакт. Ззовні кришка притискається до трубчастої конструкції за допомогою різьбових баранців (не потрібно використання викрутки або ключа для подолання жорсткості пружин). Для облегшення завантаження елементів з дотриманням необхідної полярності застосовано кольорове позначення торців трубок. Повздовжні прорізи на трубках орієнтовані донизу задля унеможливлення потрапляння та накопичення дощової води та сприяють кращому охолодженню елементів.



4. Кріплення батареї до багажника велосипеда здійснюється за допомогою двох стрічкових сталевих хомутів з гвинтом.

5. На рисунку 5 зображена електрична, принципово-монтажна схема третьої батареї.

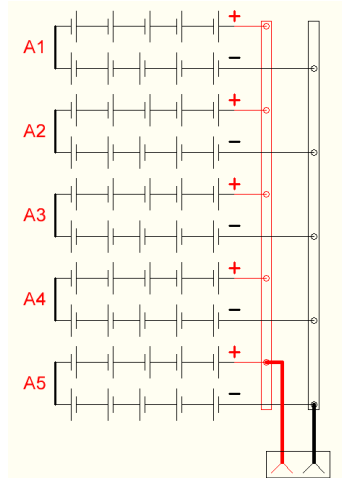


Рисунок 5 – Схема електрична, принципово-монтажна власної батареї

Досвід експлуатації

1. Вже перше завантаження елементів в збірці показало те, що наявні у автора елементи типу 18650 не можуть бути безпосередньо застосовані. Конструкція елементів не забезпечує електричного контакту між «+» та «-» полюсами послідовно набраних елементів, оскільки цьому заважає їх зовнішня ізоляція. Довелося нанести на «+» полюси елементів шар олова, товщій за ізоляцію (рис. 6)



Рисунок 6 – Шар олова на «+» полюсі елемента



Рисунок 7 – Два Li-ion елемента з'єднані послідовно з олов'яною напайкою

Під постійним тиском пружин та дією тряски олов'яні точки почали розклепуватись (площа контакту збільшилась, питомий тиск на поверхнях зменшився), а на їх поверхні утворюватися високоомні плівки, ймовірно з оксиду олова (рис 6). Це проявилось у більш помітному просіданню напруги батареї під час розгону, в той час коли елементи мали ще значний заряд. Проблема вирішувалась тимчасово зачищенням олов'яних поверхонь. В подальшому ця



вада була усунена шляхом використання елементів з привареними стрічковими виводами. Такі елементи пропонуються виробниками (рис 8) або можуть бути модернізовані звичайні елементи в домашніх умовах із використанням портативного зварювального пристрою для точкової зварки (рис. 9).



Рисунок 8 – Елемент з привареними стрічковими виводами

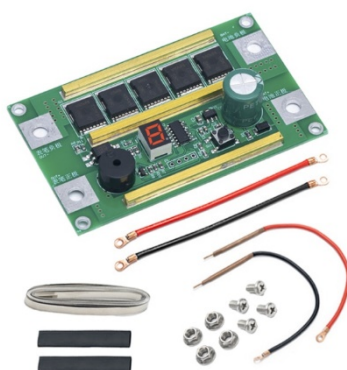


Рисунок 9 – Портативний зварювальний пристрій для точкової зварки

За допомогою портативного зварювального пристрою були приварені металічні стрічки до «+» полюсів елементів, після чого, описані в пункті 1 проблеми зникли. Завдяки наявності радіального люфту елементів в трубках порядку 1 мм та впливу тряски відбувається самоочищення контактних з'єднань між елементами.

2. Завантаження елементів в збірки та закривання передньої кришки виявилось легким та зручним.

3. Вивантаження елементів виявилось не зовсім зручним, оскільки касета закріплена на багажнику велосипеда в горизонтальному положенні. Доводилось піднімати передню частину велосипеда для того, щоб витрусити елементи з трубок. Для цієї операції бажано було мати помічника, щоб упередити падіння елементів на тверді поверхні, їх пошкодження та розгерметизацію. Вказану ваду було виправлено шляхом свердління додаткових отворів у передній кришці батареї на рівні кожної напівзбірки. Виштовхування елементів з трубок відбувається скловолонним прутком діаметром 3 мм.

Після виправлення виявлених вад та проведення ходових випробувань батареї протягом двох місяців додаткових недоліків не виявили. Поведінка батареї була наступна:



- Рівномірне, пропорційне до пробігу зменшення рівня заряду батареї на індикаторі велосипеда, просідання напруги спостерігалось тільки при надрізкому розгоні велосипеда.
- Максимальна відстань поїздки на повному заряді батареї не змінилася після багаторазових циклів розряд/заряд, що свідчить про незмінну ємність АБ.
- Стабільна струмовіддача на всіх елементах (контактні з'єднання виявилися надійними, всі елементи були під'єднанні до електричного кола батареї).
- При зарядці різниця залишкових напруг на елементах варіювалася в межах 10%, що дорівнює 0,05 В і є дуже малою в порівнянні з робочим діапазоном.
- За два місяці експлуатації не було виявлено елементів з ознаками розгерметизації; кількість елементів, що потребували заміни дорівнювала нулю.
- Вивантаження елементів за допомогою стрижня виявилось легким та зручним.
- На вивантаження, зарядку та укомплектування батареї елементами витрачалось мінімум часу.

3. Економічний аналіз доцільності інвестицій у власну Li-ion батарею

Витрати на виготовлення, укомплектування та експлуатацію власної Li-ion батареї рахували за такими пунктами:

- Матеріали для корпусу батареї (більшість були взяті із підручних засобів, на інше (ПВХ труба, герметик, фарба) було витрачено близька 200 грн).
- Li-ion акумулятори «18650». Орієнтувалися на надійних виробників – Samsung, LiitoKala (ліцензія Samsung). При закупівлі акумуляторів від 50 одиниць і більше вартість одного елемента склала 2\$ = 57₴ (закупівлю проводили на торгівельному майданчику AliExpress)
- Універсальні зарядні пристрої «MIBOXER C8» у кількості 3 одиниць. (Вартість одного 25\$ = 675₴). Корпус зарядної станції зробили із підручних матеріалів.

Таблиця 1 – Калькуляція витрат на матеріали та компоненти третьої батареї

Деталі корпусу, грн	Акумулятори «18650», грн	ЗП «MIBOXER C8», грн	Всього, грн
200	2850	2025	5 075

Ознайомилися з асортиментом комплектних Li-ion батарей 36 В, 15А*год та зарядних пристроїв перевірених виробників, наприклад, Samsung. АБ оснащенні балансувальними BMS платами. Батареї знаходяться в жорсткому корпусі, захищені від попадання вологи, мають кріплення для фіксації на рамі велосипеда. У комплекті є зарядний пристрій. Вартість таких комплектів починається від 6500 грн. Проте варто зауважити, що трапляються випадки



(згідно оглядових відео на ресурсі YouTube) укомплектування батарей елементами, які не містять жодного маркування та з ємністю й струмовіддачею суттєво нижчою від заявленої. Тобто існує значний ризик придбати «кота в мішку».

Пропонуються також спрощені моделі тягових батарей. Вони не оснащені жорстким корпусом та кріпленням. Збірки елементів запаковані в одношарову плівкову ізоляцію, здебільшого елементи не мають маркування та даних про виробника. Відповідно, застосування таких батарей в якості тягових для електровелосипедів вимагає додаткового оснащення. Вартість таких батарей при заявленій ємності 15 А*год та номінальній напрузі 36 В починається від 5000 грн.

Висновки.

✓ У роботі висвітлено шлях винаходу оригінальної конструкції тягової Li-ion батареї на базі елементів габариту «18650» для портативного електротранспорту, зокрема електровелосипеда. Концепція батареї та прийоми експлуатації практично унеможливають завдання шкоди її елементам через відхилення параметрів розряду, заряду від рекомендованих виробником.

✓ Дослідна експлуатація батареї підтвердила заощадливе використання ресурсу елементів, недопущення їх передчасного виходу з ладу.

✓ Практично підтверджено високу надійність батареї в дорожніх умовах: стабільність контактних з'єднань, захищеність елементів від забруднення вологою та пилом, прийнятні умови охолодження елементів.

✓ Зручний та швидкий процес розбирання батареї, вивантаження й завантаження елементів, а також можливість швидкого підзаряду батареї без розбору підтверджують її високі експлуатаційні характеристики.

✓ Надвисокий рівень пожежної безпеки батареї через ізолюваність елементів один від одного та міцність оболонки. Застосування трубочастої касети унеможливорює коротке замикання між елементами та коротке замикання внаслідок витoku електроліту.

✓ Концепція трубочастих носіїв елементів наптовхнула автора на ідею створення «рознесеної» АБ з метою вивільнення багажника велосипеда для перевезення корисного вантажу. Вільний простір між площиною заднього колеса та стійками багажника може вмістити таку перспективну батарею. На думку автора, ідея гідна опрацювання з точки зору комерційного виробництва, чому будуть присвячені подальші вишукування.

✓ Отримані результати цілком задовільнили автора вишукувань, адже заощадження ресурсу елементів зумовлює значне зменшення питомої вартості проїзду на портативному електротранспорті та робить його більш популярним.

Література:

1. Татарчук Т.В., Середенко К.А., Олексенко О.С. Портативний електротранспорт. – Eurasian scientific discussions. Proceedings of the 13th International scientific and practical conference. Barca Academy Publishing. Barcelona, Spain. 2023. Pp. 182-190. URL: <https://sci-conf.com.ua/xiii-mizhnarodna-naukovo-praktichna-konferentsiya-eurasian-scientific-discussions-22-24-01-2023->



barselona-ispaniya-arhiv/.

2. Tatarчук Т.В., Seredenko K. A., Oleksenko O. S. Design of Li-Ion batteries for portable electric transport // European Journal of Technical and Natural Sciences. 2023. №2. URL: <https://ppublishing.org/archive/publication/583-design-of-li-ion-batteries-for-portable-electr> (Preprint)

3. Вуллакотт Е. Що буде зі старими акумуляторами від електромобілів [Електронний ресурс] / Емма Вуллакотт. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.bbc.com/ukrainian/features-56927625>.

4. Розвиток електротранспорту [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://mybro.com.ua/news/istoriya-razvitiya-elektrotransporta.html>.

5. Загальна характеристика електровелосипедів [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://velobarnaul.ru/articles/theory/obshchaya_kharakteristika_elektrovelosipedov/.

6. Акумуляторні батареї [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://bit.ly/3HzoCsV>.

7. Батареї для електровелосипедів [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.kryptobike.ru/elektrovelosipedy/78-ustrojstvo-akkumulyatora-elektrovelosipeda-li-ion-akkumulyator>.

8. Плати BMS [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.voltbikes.ru/blog/vybor-platy-bms/>.

9. Універсальний зарядний пристрій "MiBoxer C8" [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://bestbattery.com.ua/chargers/li_ion_charger/miboxer_chargers/miboxer_c8.

Abstract. During the work, the designs of traction batteries for portable electric transport were considered and analyzed. Serious flaws have been revealed that battery manufacturers carefully hide. The inability of balancing BMS boards to prevent long-term effects of overcurrent on elements has been theoretically proven. The next task of our research was the design and manufacture of the first Li-ion battery, which in its design was similar to factory analogues. During the operation of the battery, the inability of the BMS board to regulate the charge current was practically observed. After analyzing the shortcomings of the first Li-ion battery prototype, they concluded that it was hopeless. The production of the second Li-ion battery, taking into account the shortcomings of the previous prototype, and its operation did not meet the expectations of the authors. And she also pointed out her hopelessness.

Keywords: Li-ion batteries, balancing BMS boards, overcurrents, service life

Стаття підготовлена в рамках Програми науково-дослідного фізико-технічного гуртка на базі кафедри фізики НУ «Запорізька політехніка»

Науковий керівник: к.т.н., доцент Татарчук Т.В.

Стаття отримана: 11.03.2023 г.

© Татарчук Т.В., Середенко К.А., Олексенко О.С.