Machinery & Energetics. *Journal of Rural Production Research. Kyiv. Ukraine. 2019, Vol. 10, No 1, 83-90*
ISSN 2663-1334 (print), ISSN 2663-1342 (online), www.journals.nubip.edu.ua/index.php/Tekhnica

DOI: 10.31548/machenergy.2019.01.083-090

УДК 631.3

ПЕРСПЕКТИВНІ ДЖЕРЕЛА СТРУМУ МОБІЛЬНОЇ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ ТЕХНІКИ

О. В. Надточій, Л. Л. Тітова

Національний університет біоресурсів і природокористування України, Україна.

Кореспонденція авторів: o.nad@ukr.net.

Історія статті: отримано – січень 2019, акцептовано – травень 2019.
Бібл. 7, рис. 4, табл. 7.

Анотація. В статті розглянуто найбільш відомі джерела електричного живлення мобільної сільськогосподарської техніки. Проведено аналіз основних характеристик акумуляторних батарей, з врахуванням їх переваг та недоліків. Визначено найкращі за кількістю максимальних показників, для більшості типів Li-ion батарей. Проведене порівняння цих джерел за питомою енергії та визначено взаємозв'язок між питомою енергією і питомою потужністю.

Ключові слова: акумуляторна батарея, VRLA батарея, Li-ion батареї, питома енергія, питома потужність.

Постановка проблеми

Акумулятори (АКБ) - чи не найважливіший елемент живлення в сучасній електроніці, особливо це стосується сільськогосподарської та автомобільної техніки, де функціонування, так чи інакше, залежить від правильної роботи акумулятора. Пристрої, які використовуються на сільськогосподарській техніці, як правило, піддаються більшому зносу, за рахунок екстремальних умов експлуатації агротехніки.

Виходячи з цього, до акумуляторних батарей с.г. техніки пред'являються наступні вимоги: висока стійкість до вібрацій; здатність адаптуватися до складних умов; підвищений струм стартера; міцний корпус; збільшене число максимально допустимих циклів розряду і заряду; загальна висока зносостійкість вузла. Правильний вибір АКБ з такими показниками є досить важливе завдання.

Аналіз останніх досліджень

Найбільш поширеними акумуляторними батареями є свинцево-кислотні, нікель-кадмієві, нікель-метал-гідридні і літій-іонні [1-3].

Свинцево-кислотні. Це найстаріша електрохімічна система для АКБ. Свинцево-кислотні батареї надійні, невибагливі і економічні, з недоліків - низька питома енергоємність і обмежений цикл життя. Вони незамінними в якості акумуляторів для автомобілів та с.г. техніки. У зв'язку з тим, що свинець є токсичним, ці акумулятори не можуть бути утилізовані на звичайному звалищі.

Нікель-кадмієві. Перевірені часом нікель-кадмієві акумулятори використовуються там, де необхідна довговічність, високий струм розряду і стійкість до екстремальної температури. NiCd батареї є одними з найбільш стійких і довговічних. Основні області застосування: електроінструмент, медичні прилади, джерела живлення для авіатранспорту. Через екологічні проблеми (кадмій дуже токсичний) нікель-кадмієві акумулятори неухильно поступаються своєю роллю іншим електрохімічним системам.

Нікель-метал-гідридні. Розроблені як заміна неекологічних NiCd акумулятора, NiMH мають у своєму складі тільки помірно токсичні метали і забезпечують більш високу питому енергоємність. NiMH акумулятори використовуються в медичному обладнанні, гібридних силових установках і промисловому обладнанні.

Літій-іонні. Будучи найбільш перспективною електрохімічної системою, літій-іонна вже замінює свинцево-кислотну і нікель-кадмієвих у багатьох областях. Вони дорожчі, ніж більшість інших акумуляторів, але велика кількість циклів заряду/розряду і низькі експлуатаційні витрати дають незаперечну перевагу в сфері джерел живлення.

Мета досліджень

Метою роботи є аналіз основних характеристик акумуляторних батарей, з врахуванням їх переваг та недоліків.

Результати досліджень

Найбільш перспективними на сьогодні є використання останньої згаданої чисельної групи АКБ. Порівняємо основні характеристик цієї групи з класичними VRLA (свинцево-кислотними) батареями.

Свинцево-кислотні акумуляторні батареї є найпоширенішими серед всіх джерел енергії для самохідної сільськогосподарської техніки. Вони в технічному плані прості, надійні і недорогі, працюють в широкому температурному діапазоні і мають відпрацьовану технологію утилізації. Проте мають і

суттєві недоліки. Перш за все це невеликий життєвий цикл, падіння напруги в міру розряду батареї, малий зарядний струм і токсичні виділення, що лишаються після закінчення використання [1]. Основні характеристики АКБ представлені в таблиці 1.

Таблиця 1. Основні характеристики свинцево-кислотної батареї.
Table 1. The main characteristics of lead-acid batteries.

Тип джерела	Свинцево-кислотна батарея Lead-Acid
Питома енергія, Вт·год/кг	30…50
Питома потужність Вт /кг	150…300
Час заряду, годин	8…16
Саморозряд за місяць, %	5
Термін служби	3..10 років
Переваги	Можливість короткочасно віддавати високий струм; Порівняно невисока ціна у стартерному режимі;
Недоліки	Залежність ємності і напруги від температури; Падіння напруги при розряді; Малий зарядний струм; Токсичні випаровування під час заряду; Невеликий ресурс в тяговому режимі

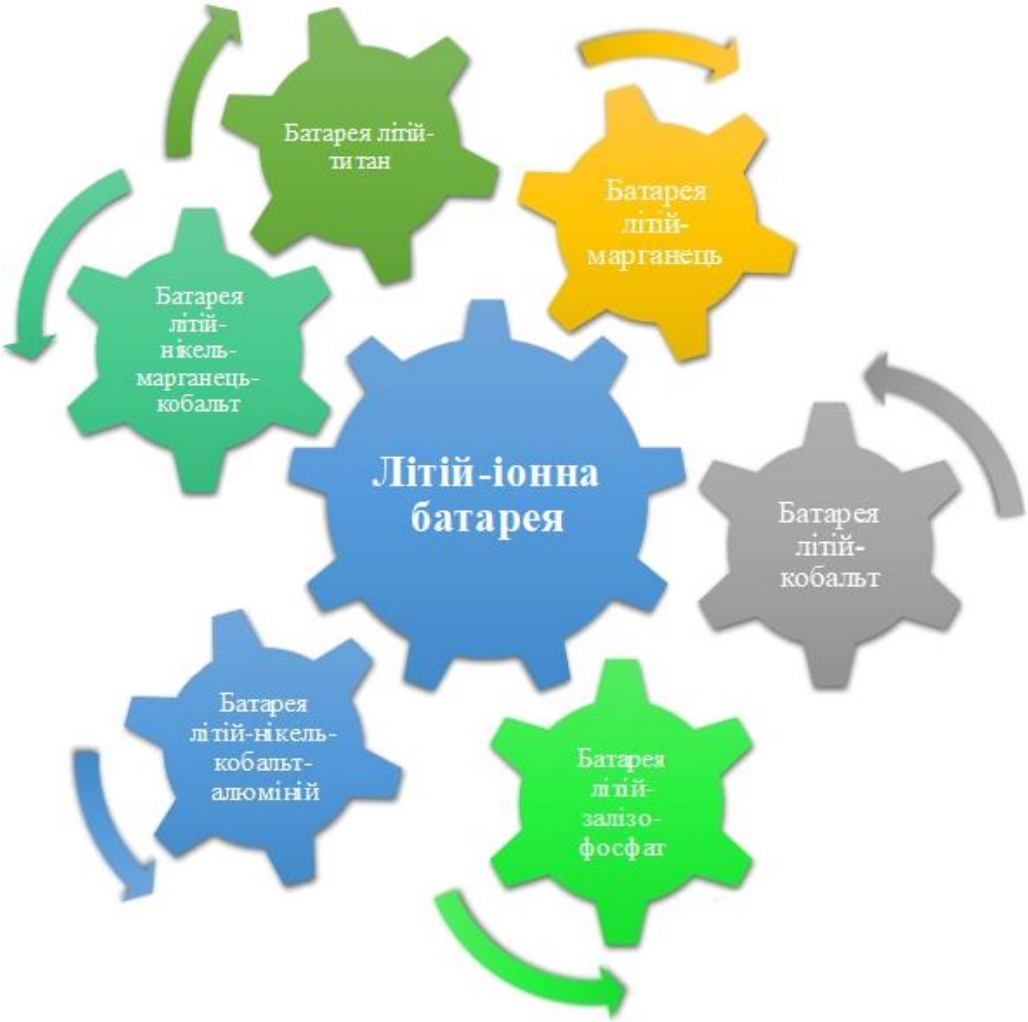

Рис. 1. Основні типи літій-іонних батарей.
Fig. 1. Main types of lithium-ion batteries.

Не дивлячись на розвиток інших джерел живлення, свинцево-кислотні батареї ще рано списувати. Розроблена ще у 1970-х роках технологія AGM (Absorbent Glass Mat), вдосконалюється і в наш час, шляхом додавання вуглецю, що дозволяє акумулятору швидше заряджатися і збільшує термін його служби. Не зважаючи, цим АКБ прогнозують подальше зростання на ринку, ведуться інтенсивні дослідження інших джерел струму, які вкрай необхідні для інтенсифікації сільськогосподарського виробництва і з часом зможуть замінити їх при комплектації самохідної сільськогосподарської

техніки. Найбільш ефективно себе показали АКБ на основі літію. На рис. 1. Схематично представлена схема основних типів Li-ion батарей.

Різні підвиди літій-іонної електрохімічної системи маркуються згідно типу своєї активної речовини, і можуть позначатися як повністю словами, так і в скороченому вигляді - хімічними формулами.

Літій-кобальтові акумулятор ($LiCoO_2$)

Висока питома енергоємність літій-кобальтового акумулятора забезпечує його популярність при виборі джерела живлення для мобільних телефонів, ноутбуків і цифрових камер. Акумулятор складається з графітового анода і катода з оксиду кобальту. Недоліком літій-кобальтових акумуляторів є відносно короткий термін служби, низька термічна стабільність і обмежені можливості навантаження (питома потужність).

Літій-кобальтові акумулятор не може заряджатися або розряджатися при силі струму вище його С-рейтингу. Це означає, що осередок типорозміру 18650 ємністю 2400 мА·год. може заряджатися або розряджатися силою струму не більшою 2400 мА. Примусовий швидкий заряд або підключення навантаження, що вимагає більше як 2400 мА, призведе до надмірного стресу і перегріву. Для швидкої зарядки виробники рекомендують С-рейтинг 0,8 (2000 мА). При використанні системи захисту акумулятора вона автоматично обмежує заряд і розряд до безпечного рівня - близько 1С.

Таблиця 2. Характеристики літій-кобальтового акумулятора.
Table 2. Characteristics lithium-cobalt battery.

Кобальтит літію: $LiCoO_2$ катод (~ 60% кобальту), графітовий анод Скорочене позначення: LCO або Li-кобальт. Розроблена в 1991 році	
Напруга	3,60 В номінальне; стандартний робочий діапазон - 3,0-4,2 В
Питома енергоємність	150-200 Вт * ч / кг; спеціалізовані моделі забезпечують до 240 Вт * год / кг
С-рейтинг заряду	0,7-1С, напруга зарядки 4,20 В; процес зарядки зазвичай займає 3 години; зарядка силою струму більше 1С скорочує термін експлуатації.
С-рейтинг розряду	1С; при напрузі нижче 2,50 В спрацьовує відсікач; розряд силою струму вище 1С скорочує термін служби батареї
Кількість циклів зар./розр.	500-1000, залежить від глибини розрядів, навантаження, температур
Тепловий пробій	Зазвичай при 150 °С. Повний заряд сприяє тепловому пробою
Сфера застосування	Мобільні телефони, планшети, ноутбуки, фотоапарати
Коментарі	Дуже висока питома енергоємність, обмежена питома потужність. Висока вартість кобальту. Використовується в областях, де потрібна висока ємність.

Таблиця 3. Характеристики літій-марганцевий акумулятора.
Table 3. Characteristics of lithium-manganese battery.

Літій-марганцева шпінель: LiMn2O4 катод, графітовий анод Скорочене позначення: LNO або Li-марганцевий. Розроблено в 1996 році	
Напруга	3,70 В (3,80 В) номінальне; стандартний робочий діапазон - 3.0-4.2 В
Питома енергоємність	100-150 Вт * год. / кг
С-рейтинг заряду	Стандарт 0,7-1С; 3С максимум; зарядка до 4,20 В
С-рейтинг розряду	Стандарт 1С; існують моделі з 10С; імпульсний режим роботи (до 5 секунд) - 50С; при 2,50 В спрацьовує відсікач
Кількість циклів зар./розр.	300-700 (залежить від глибини розрядів і температури)
Тепловий пробій	Зазвичай при 250 ° С. Повний заряд сприяє тепловому пробою
Сфера застосування	Електроінструмент, медичне обладнання, електричні силові агрегати
Коментарі	Висока потужність, але помірна ємність; безпечніший літій-кобальтових; зазвичай використовується разом з NMC

Літій-марганцевий акумулятор ($LiMn_2O_4$). Низький внутрішній опір такого осередку з літій-марганцевої шпінелі забезпечує швидку зарядку і високе можливе значення сили струму розряду. У типорозмірі 18650 літій-марганцевий акумулятор може розряджатися силою струму в 20-30 А з помірним теплоутворенням. Крім того, він здатний витримувати імпульси до 50 А протягом однієї-двох секунд. Безперервне ж навантаження в 50 А призводить до значного нагрівання акумулятора. Літій-марганцеві акумулятори використовуються для потужних інструментів, медичного обладнання, а також в гібридному і електротранспорті.

Ємність літій-марганцевого акумулятора приблизно на третину менше ємності літій-кобальтового.

Більшість літій-марганцевих акумуляторів комбінуються з літій-нікель-марганець-кобальтовими (NMC) для підвищення питомої енергоємності і продовження терміну служби. Цей союз дозволяє використовувати сильні сторони обох систем і називається LMO (NMC). Саме ці комбіновані

акумулятори використовуються в більшості електромобілів, таких як Nissan Leaf, Chevy Volt і BMW i3. LMO - частина такого акумулятора, яка становить близько 30%, забезпечує високі прискорювальні можливості електродвигуна, а NMC частина відповідає за величину автономного пробігу.

Літій-нікель-марганець-кобальт-оксидний акумулятор ($LiNiMnCoO_2$ чи NMC)

Одним з найбільш успішних варіантів виконання літій-іонної електрохімічної системи є поєднання нікелю, марганцю і кобальту (NMC) в катоді. За аналогією з літій-марганцевими, ці системи можуть бути оптимізовані під ємність чи потужність. Наприклад, NMC акумулятор в типорозмірі осередку 18650 для помірного навантаження має ємністю 2800 мА·год і може забезпечувати силу струму в 4-5 А; а версія в тому ж типорозмірі, але оптимізована під показники потужності має ємність тільки 2000 мА·год, але максимальна сила струму розряду у неї - 20 А. Показник ємності можна збільшити і до 4000 мА·год, якщо додати кремній до складу анода.

Таблиця 4. Характеристики літій-нікель-марганець-кобальт-оксидного (NMC) акумулятора.
Table 4. The characteristics of lithium-Nickel-manganese-cobalt-oxide (NMC) battery.

Літій-нікель-марганець-кобальт-оксид: LiNiMnCoO2 катод, графітовий анод Скорочене позначення: NMC (NCM, CMN, CNM, MNC, MCN) Розроблено в 2008 році	
Напруга	3,60-3,70 В номінальне; стандартний робочий діапазон - 3,0-4,2 В на клітинку, або вище
Питома енергоємність	150-220 Вт * год. / кг
С-рейтинг заряду	0,7-1С, зарядка до 4,20 В, в деяких моделях до 4,30 В; процес зарядки зазвичай займає 3 години; зарядка силою струму більше 1С скорочує термін
С-рейтинг розряду	1С; деякі моделі підтримують 2С; при 2,50 В спрацьовує відсікач
Кількість циклів зар./розр.	1000-2000 (залежить від глибини розрядів і температури)
Тепловий пробій	Зазвичай при 210 ° С. Повний заряд сприяє теплового пробою
Сфера застосування	Медичне обладнання, електроавтомобілі, промисловість
Коментарі	Забезпечують високу ємність і потужність. Широкий спектр практичного застосування.

Таблиця 5. Характеристики літій-залізо-фосфатного (LFP) акумулятора.
Table 5. The characteristics of lithium-iron-phosphate (LFP) batteries.

Літій-феро-фосфат: $LiFePO_4$ катод, графітовий анод Скорочене позначення: LFP або Li-фосфат	
Напруга	3,20, 3,30 В номінальне; стандартний робочий діапазон - 2,5-3,65 В на секцію
Питома енергоємність	90-120 Вт * год. / кг
С-рейтинг заряду	1С стандарт, зарядка до 3,65 В; процес зарядки зазвичай займає 3 години
С-рейтинг розряду	1С; в деяких версіях до 25С; 40 А імпульсні струми (до 2 секунд); при 2,50 В спрацьовує відсікач (напруга нижче 2 В наносить шкоду)
Кількість циклів зар./розр.	1000-2000 (залежить від глибини розрядів і температури)
Тепловий пробій	270 ° С. Безпечний навіть при повному заряді
Сфера застосування	Портативні та стаціонарні пристрої, де необхідні високі струми навантаження і витривалість
Коментарі	Дуже рівний графік розряду, але невелика ємність. Один з найбезпечніших в сімействі літій-іонних. Використовується в спеціалізованих пристроях.

Нікель, марганець і кобальт можуть бути легко змішані, щоб задовольнити широкий спектр вимог для електротранспорту або систем акумулювання енергії, специфіка яких передбачає регулярну циклічну роботу.

Літій-залізо-фосфатний акумулятор ($LiFePO_4$)

Основними перевагами таких акумуляторів є високі показники сили струму і тривалий термін служби, до того ж вони мають гарну термічну стабільність, підвищену безпеку і стійкість до неправильного використання. Літій-фосфатні акумулятори часто використовуються в якості заміни стартерних свинцево-кислотних. В таблиці 5 показані характеристики літій-фосфатного акумулятора.

Чотири осередки такої батареї забезпечать напругу в 12,8 В - аналогічно напрузі шести двовольтових осередків свинцево-кислотного. Генератор транспортного засобу заряджає свинцево-кислотний акумулятор до 14,40 В (2,40 В на секцію). Для чотирьох літій-фосфатних осередків максимальна напруга буде 3,60 В, які після підзарядки слід відключити, чого не відбувається в звичайному транспортному засобі.

Літій-залізо-фосфатні акумулятори стійкі до перезаряду, але низькі температури також можуть стати проблемою при використанні LFP акумулятора в якості заміни звичайному стартерному.

Літій-нікель-кобальт-алюміній-оксидних акумулятор ($LiNiCoAlO_2$)

Літій-нікель-кобальт-алюміній-оксидний акумулятор, або скорочено NCA, був розроблений в 1999 році і схожий з NMC акумулятором, виділяючись високою питомою енергоємністю, досить хорошою питомою потужністю і тривалим терміном служби. Слабкими місцями є безпека і вартість. Таблиця 6 характеризує шість ключових характеристик цього акумулятора. NCA електрохімічна система являє собою подальший розвиток літій-нікелевої, додавання алюмінію дало підвищення стабільності.

Таблиця 6. Характеристики літій-нікель-кобальт-алюміній-оксид (NCA) АКБ.
Table 6. The characteristics of lithium-Nickel-cobalt-aluminum oxide (NCA) battery.

Літій-нікель-кобальт-алюміній-оксид: LiNiCoAlO2 катод (~ 9% кобальту), графітовий анод Скорочене позначення: NCA або Li-алюміній	
Напруга	3,60 В номінальне; стандартний робочий діапазон - 3,00-4,20 В на клітинку
Питома енергоємність	200-260 Вт * год / кг, очікується поліпшення до 300 Вт * год / кг
С-рейтинг заряду	0,7 с, зарядка до 4,20 В (більшість версій); процес зарядки зазвичай займає 3 години, для деяких версій доступна швидка зарядка
С-рейтинг розряду	1С стандарт; при 3,00 В спрацьовує відсікач; глибокі розряди вкорочують термін служби
Кількість циклів зар./розр.	500 (залежить від глибини розрядів і температури)
Тепловий пробій	Зазвичай при 150 ° С. Повний заряд сприяє теплового пробою
Сфера застосування	Медичне обладнання, промисловість, електричні силові агрегати
Коментарі	За характеристиками дуже схожий на літій-кобальтові. В основному використовується в пристроях, що вимагають високих показників ємності

Таблиця 7. Характеристики літій-нікель-кобальт-алюміній-оксид (NCA) АКБ.
Table 7. The characteristics of lithium-Nickel-cobalt-aluminum oxide (NCA) battery.

Титанат Літія: графітовий катод, $Li_4Ti_5O_{12}$ анод Скорочене позначення: LTO або Li-титанат	
Напруга	2,40 В номінальне; стандартний робочий діапазон - 1,80-2,75 В на клітинку
Питома енергоємність	70-80 Вт*год./кг
С-рейтинг заряду	1С номінальне; 5С максимальне; зарядка до 2,85 В
С-рейтинг розряду	10С допустимо; 30С імпульс (5 секунд); при 1,80 В спрацьовує відсікач
Кількість циклів зар./розр.	3000-7000
Тепловий пробій	Один з найбільш безпечних літій-іонних акумуляторів
Сфера застосування	Електричні силові агрегати (Mitsubishi i-MiEV, Honda Fit-EV), вуличне освітлення на сонячних елементах
Коментарі	Тривалий термін служби, швидка зарядка, широкий температурний діапазон, але низька питома енергоємність і висока вартість

Літій-тітанатний акумулятор ($Li_4Ti_5O_{12}$)

У класичному літій-іонному акумуляторі анод графітовий, в АКБ з титанату літію - з нанокристалів титаната літію. Графіт присутній в складі літій-тітанатного акумулятора, але вже в ролі катода.

У цього акумулятора номінальну напругу осередку становить 2,40 В (табл.7), він може бути дуже швидко заряджений і забезпечує високий струм розряду – 10 С, тобто в 10 разів перевищує показник його ємності. Кількість циклів заряду/розряду більше, ніж у звичайного літій-іонного.

Літій-титанатний акумулятор безпечний, має відмінні низько температурні характеристики - при мінус 30 °С його ємність зберігається на рівні 80%. Але вартість такого акумулятора висока, а показник питомої енергоємності в 65 Вт * год/кг дозволяє конкурувати хіба що з нікель-кадмієвими. Номінальна напруга осередку літій-титанатного акумулятора складає 2,80 В; працездатним акумулятор вважається до значення 1,80 В.

Діаграма наглядно демонструє максимальну кількість - 4 кращих показників у батареї LTO. Дещо гірші (по 3 показника) мають LFP та LMO батареї. Всім іншим належить по одному кращому показнику. Однак для вибору оптимального варіанту батареї навіть максимальна кількість таких показників не є вирішальною з причини функціонального призначення. Ще одним стримуючим фактором є вагомість кожного показника. Ці показники не є рівнозначними. Найбільш важливим на нашу думку є показник питомої енергії АКБ.

Порівняння питомої енергоємністі свинцевих, нікелевих і літієвих АКБ (рис. 3) показує, що в той час, як літій-алюмінієва (NCA) АКБ є явним переможцем по цьому параметру, не варто забувати і про інші важливі характеристики, де перевага знаходиться у інших систем. Відносно питомої потужності і термічної стабільності лідерами є літій-марганцева (LMO) і літій-фосфатна системи (LFP). Літій-титанатна (LTO) не відрізняється видатної енергоємністю, але за тривалістю життя і

низькотемпературних характеристик їй немає рівних. Найбільш повну відповідність вимогам живлення електричних силових агрегатів, безпеки і кількості циклів заряду/розряду по праву роблять літій-кобальтову (LCO) систему найпоширенішою на сьогоднішній день.

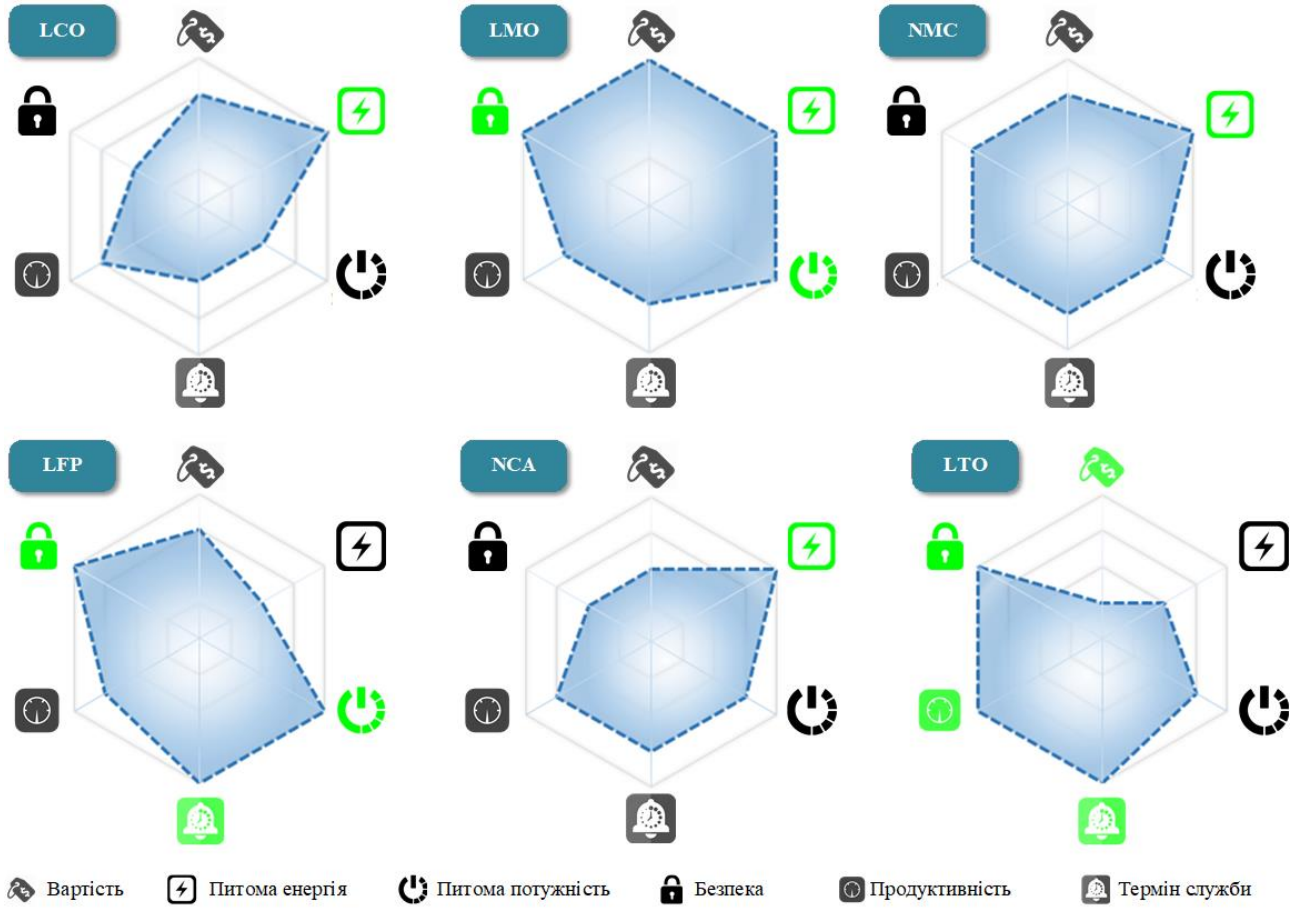

Рис. 2. Пелюсткові діаграми зведених експлуатаційних показників літій-іонних батарей (зеленим позначено найкращі показники).

Fig. 2. Radar summary chart operational performance lithium-ion batteries (green color indicates the best performance).

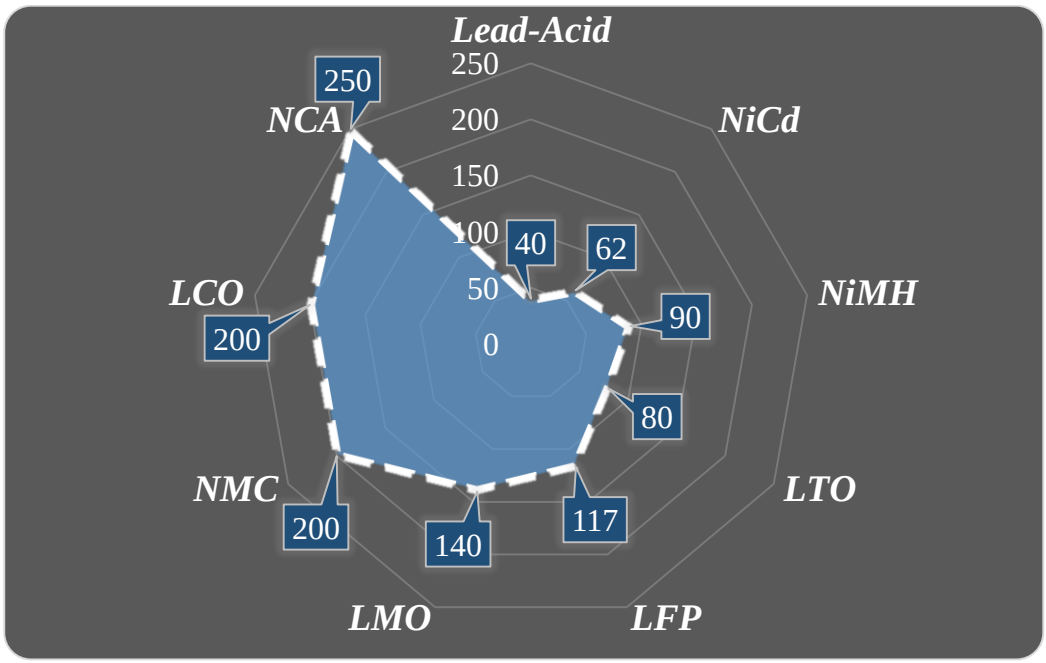

Рис. 3. Показники питомої енергоємності свинцевих, нікелевих і літієвих акумуляторних батарей.

Fig. 3. Indicators specific energy consumption of lead, Nickel and lithium batteries.

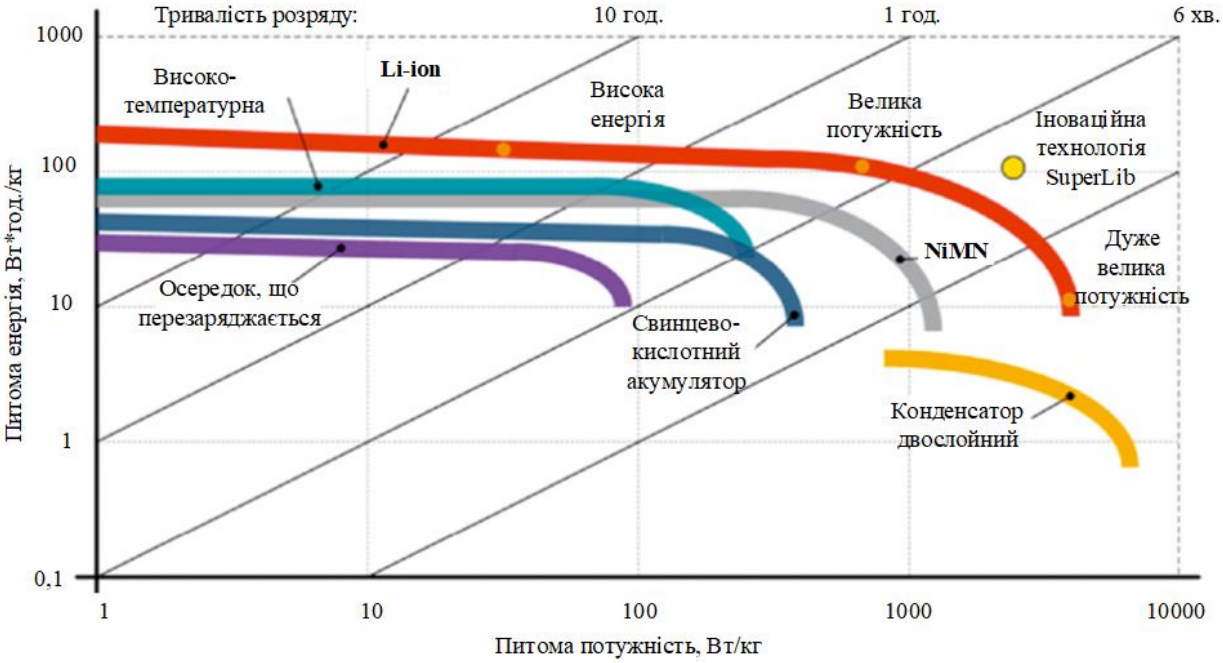

Рис. 4. Взаємозв'язок між питомою енергією і питомою потужністю для АКБ.
Fig. 4. The relationship between energy density and power density for battery.

Досить важливим показником використання АКБ для сільськогосподарської техніки є необхідність видавати високий струм і велику потужність протягом 5-10 хв. З цієї точки зору ключовим відмінністю між літій-іонними і VRLA (свинцево-кислотними) акумуляторами є те, наскільки сильно вони розряджаються за цей час. Наприклад, *потужний* акумулятор може підтримувати повне навантаження протягом 1-2 хв, при цьому акумулятор розрядиться на 80%.

Енергоємний елемент розрахований на надання відносно невеликої потужності протягом тривалого періоду. *Ємний* акумулятор може надати таку ж потужність протягом того ж проміжку часу, але при цьому витрачається тільки 10-30% ємності акумулятора.

На рис. 4 показано співвідношення між енергією і потужністю для різних технологій накопичення енергії разом з відповідним впливом на час роботи. Низхідна крива для кожної лінії вказує на обмеження акумулятора в частині надання її повної енергетичної ємності за більш короткий час. Варте увагу відносне положення на графіку як питомої енергії, так і питомої потужності свинцево-кислотних та літій-іонних акумуляторів. Таким чином, літій-іонні акумулятори мають два варіанти виконання - з силовими і енергоємними елементами. У той же час через обмеження хімії і технології свинцево-кислотні АКБ можуть застосовуватися виключно в якості енергоємних елементів.

Висновки

1. Сьогодні сільське господарство, як локомотив економіки змушує машинобудування працювати на себе, щоб замінити нарешті на ринку вживану імпортну техніку. Власний вітчизняний трактор, комбайн буде потребувати ефективного джерела енергії для своєї роботи.

2. Технічні характеристики автономних джерел енергії на базі традиційних VRLA АКБ і перспективних Li-ion дадуть можливість як розробникам, так і користувачам самохідної сільськогосподарської техніки зробити правильний вибір при підборі джерела енергії.

Список літератури

1. *Кедринский И. А., Дмитренко В. Е., Поваров Ю. М., Грудянов И. И.* Химические источники тока с литиевым электродом. НТУ «ХПИ», Харьков, 2019. 320 с.

2. *Болотовский В. И.* Литиевые источники тока. Энергоиздат, Москва, 2018. 246 с.

3. *Русин А. И.* Усовершенствование положительного электрода свинцового аккумулятора. Электротехническая промішленость. Серия 22. Источники тока: Обзор. Москва. Информэлектро, 2018. 56 с.

4. *Янченко В. С.* Разработка свинцовых аккумуляторов повышенной удельной энергии для электромобилей: Автореферат дисс. на соискание уч. степени канд. техн. наук. ИХТИ. Иваново, 2017. 27 с.

5. *Северный А. Э., Пучин Е. А., Мельников А. А.* Использование, хранение и ремонт аккумуляторных батарей. Москва. ГОСНИТИ, 2018. 112 с.

6. Types of Lithium-ion. https://batteryuniversity.com.

7. Аккумуляторные батареи. https://best-energy.com.ua/support/batter.

References

1. *Kedrinsky S. A., Dmitrenko E. V., Cooks Y. M., Prodanov S. S.* (2019). Chemical current sources with lithium electrode. NTU "KHPI", Kharkov, 320.

2. *Bolotovskii, V. S.* (2018). Lithium current sources. Energoizdat, Moscow, 246.

3. *Rusin A. S.* (2018). Improvement of the positive electrode lead battery. Electrical PROMSTROI. Series 22. Current sources: a Review. Moscow. Informelectro, 56.

4. *Yanchenko, V. C.* (2017). Development of lead-acid batteries of high specific energy for electric vehicles: abstract of Diss. on competition degree candidate. tech. Sciences. ATI. Ivanovo, 27.

5. *North A. C., Puchin E. A., Melnikov A. A.* (2018). Use, storage and repair of batteries. Moscow. GOSNITI. 112.

6. Types of Lithium-ion. https://batteryuniversity.com.

7. Rechargeable batteries. https://best-energy.com.ua/support/battery.

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ИСТОЧНИКИ ТОКА МОБИЛЬНОЙ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ

А. В. Надточий, Л. Л. Титова

Аннотация. В статье рассмотрены наиболее известные источники электропитания мобильной сельскохозяйственной техники. Проведен анализ основных характеристик аккумуляторных батарей, с учетом их преимуществ и недостатков. Определены лучшие по количеству максимальных показателей, для большинства типов Li-ion батарей. Проведено сравнение этих источников по удельному энергии и определена взаимосвязь между удельной энергией и удельной мощностью.

Ключевые слова: аккумуляторная батарея, VRLA батарея, Li-ion батареи, удельная энергия, удельная мощность.

PERSPECTIVE SOURCES OF MOBILE AGRICULTURAL MACHINERY CURRENCY

O. V. Nadtochy, L. L. Titova

Abstract. The article deals with the most well-known sources of electric power of mobile agricultural machinery. The analysis of the main characteristics of storage batteries, taking into account their advantages and disadvantages, is carried out. The best-of-breed numbers for the most types of Li-ion batteries are defined. A comparison of these sources with respect to specific energy was made and the relationship between specific energy and specific power was determined.

Key words: battery, VRLA battery, Li-ion battery, specific energy, specific power.

О. В. Надточій ORCID 0000-0002-1849-9538.
Л. Л. Тітова ORCID 0000-0001-7313-1253.