

УДК 629.3/623.4

О. П. Кондратенко

## ОСОБЛИВОСТІ АКУМУЛЯТОРНИХ БАТАРЕЙ ДЛЯ ПЕРСПЕКТИВНИХ АВТОМОБІЛІВ З ГІБРИДНИМ І ЕЛЕКТРИЧНИМ ПРИВОДАМИ

*Представлені результати аналізу характеристик сучасних електрохімічних джерел енергії для гібридної силової установки транспортного засобу.*

*К л ю ч о в і с л о в а: акумуляторна батарея, гібридний автомобіль, енергетична ємність.*

**Постановка проблеми.** Сучасний автомобіль – транспортний засіб новітнього покоління, що виник внаслідок поєднання механічної основи традиційного автомобіля з електричною та електронною технікою.

Сьогодні більшість закордонних автомобілебудівних фірм ведуть інтенсивні дослідні й конструкторські роботи зі створення й удосконалення автомобілів з гібридними силовими установками. Інтерес до таких автомобілів проявляють замовники як міського транспорту, так і військової техніки. Хоча цілі у них різні, але шляхи їх реалізації мають багато спільного. Для силових відомств автомобіль, безсумнівно, є цікавим своїм багатопільовим застосуванням і специфічними властивостями (підвищені тягово-динамічні властивості завдяки поєднанню потужностей двигуна внутрішнього згорання (ДВЗ) і електричних накопичувачів, здатність у певних умовах виконувати завдання з непрацюючим ДВЗ). Для цивільних споживачів – як вантажопасажирський і міський розвізний автомобіль, оскільки значну частину шляху в місті він здатний долати з непрацюючим ДВЗ. Крім того, у ньому достатньо просто реалізуються актуальні для міського циклу завдання: рекуперація енергії гальмування та можливість під'їзду до зупинки, стоянки і початок руху після зупинки з непрацюючим ДВЗ [1].

Виконати ці завдання можливо, використовуючи електрохімічні джерела енергії, серед різних типів яких необхідно вибрати найбільш оптимальні, що тією чи іншою мірою задовольняють специфічні вимоги.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Акумулятори для автомобілів з гібридним приводом дуже сильно відрізняються від відомого свинцевого акумулятора [2]. Це пов'язане з тим, що останній призначений, в основному, для пуску двигуна й підтримання працездатності обмеженої кількості електричних компонентів у той момент, коли ДВЗ виключений. Призначення зовсім інше, якщо акумулятор потрібно використовувати в гібридному автомобілі для підтримання електричної мережі або як єдине енергетичне джерело електромобіля [3; 4].

Автомобіль сьогодні є глобальним забруднювачем навколишнього середовища. Тому більшість учених і практиків сходяться на тому, що, з одного боку, відмовитися від нього неможливо, а з іншого – необхідно вживати термінових заходів зі зниження токсичності відпрацьованих газів. Фахівці, які займаються згаданою проблемою, не вважають її нерозв'язною. Більше того, вони пропонують декілька напрямків робіт, які дозволять зробити автомобільну енергетику екологічно чистою.

Один з них – створення автомобілів з комбінованою енергетичною установкою, де як основне джерело енергії використовується ДВЗ, а піковим її джерелом є тягова електрохімічна батарея або накопичувач (батарея електричних конденсаторів, компактний маховик і т. п.). Даний напрямок одержав останнім часом бурхливий розвиток і поступово завойовує автомобільний ринок. Наприклад, автомобіль “Тойота Приус”, що ще п'ять-шість років тому був чимсь екзотичним, сьогодні випускається і продається сотнями тисяч одиниць [5].

**Мета статті:** проаналізувати і визначити характеристики сучасних типів акумуляторів для обґрунтованого ухвалення рішення з комплектації енергетичного устаткування гібридного автомобіля.

**Виклад основного матеріалу.** Перш ніж проводити аналіз характеристик батарей, доцільно уточнити поняття й одиниці виміру стосовно цього питання.

Нагадаємо, що потужність – це кількість енергії за одиницю часу. Якщо енергію вимірювати в джоулях (Дж), то потужність вимірюватиметься в джоулях за секунду (Дж/с). Ця величина називається “ват” (Вт або W). Різницю між енергією й потужністю легко проілюструвати на прикладі

фотоспалаху, який дає потужність декілька кіловатів, але протягом всього 1/1000 с. Енергія витрачається при цьому мізерна, еквівалентна тій, що виділяється при згорянні лише одного міліграма бензину.

Для електрохімічного джерела важлива не стільки його потужність, скільки загальна кількість енергії, яка визначає тривалість роботи пристрою. Вимірювати енергію можна в джоулях, але на практиці це незручно. Її доцільно вимірювати, наприклад, у ват-годинах, що є добутком потужності на час. Так рахують ємність акумуляторів для ноутбуків.

Ємність автомобільних акумуляторів прийнято виражати в ампер-годинах (А·год) [6]. Розглянемо, як ця одиниця пов'язана з енергією. Потужність в електричних колах постійного струму є добутком струму на напругу (А·В). І якщо ми поділимо ват-години на вольти номінальної напруги джерела, то отримаємо ампер-години. Виміряна у таких одиницях ємність джерела більш-менш пропорційна ємності в одиницях енергії.

Величина “ампер-година” отримала практичне використання не тільки завдяки простоті вимірювання, а й ще з однієї причини: розробники вати не цікавлять, натомість йому відомий споживаний струм. За такої умови розраховувати час роботи акумулятора значно простіше.

Номінальну ємність автомобільних батарей скорочено позначають літерою “С” і вимірюють в ампер-годинах (А·год; А·h). Наприклад, батарея ємністю 50 А·год здатна забезпечити струм 5 А протягом 10 год до початку зменшення її напруги менше номінальної.

Залежно від призначення акумулятора, до нього висувають різні вимоги:

- у гібридних автомобілях різної конфігурації акумулятор повинен забезпечувати необхідну (достатньо високу) потужність і не обов'язково велику ємність;
- в автомобілі з паливними елементами доцільно мати акумулятор із середньою потужністю й середньою накопичувальною здатністю;
- в електромобілях (рис. 1) акумулятор повинен мати високу накопичувальну здатність (ємність).

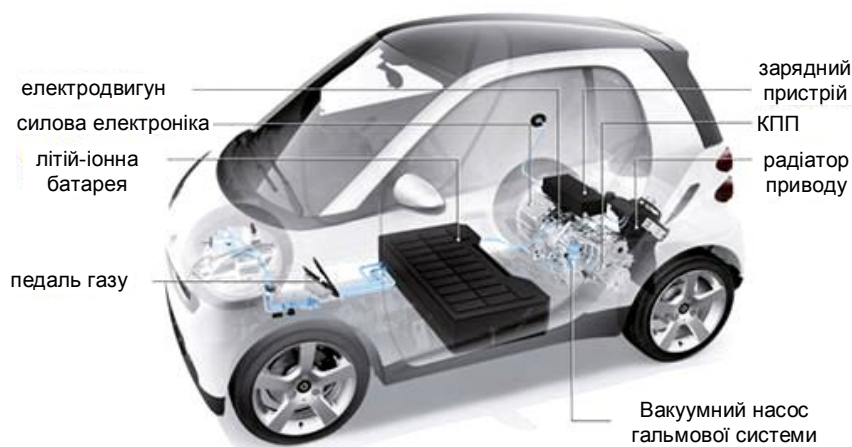


Рис. 1. Варіант компоновання електромобіля

Згодом будь-який акумулятор розряджається, і його доводиться заряджати. Сучасний свинцевий акумулятор у системі із ДВЗ розрахований приблизно на 1 000 циклів. В автомобілях з гібридним приводом або з паливними елементами акумулятор заряджається навіть при частковому розряді, що відбувається дуже часто. Такий акумулятор повинен витримувати значно більшу кількість циклів.

У електромобілях особливу увагу необхідно звертати на саморозряд акумулятора. Навіть у той час, коли акумулятор не використовується, він втрачає свій заряд через внутрішні хімічні процеси. Саморозряд сильно залежить від типу використовуваного акумулятора. Незалежно від цього, в міру старіння батареї, він також постійно збільшується. Крім того, саморозряд залежить від температури – її підвищення на 10 °С подвоює саморозряд. При 20 °С показники саморозряду для деяких типів акумуляторів є такими:

- свинцевий 2–30 %;
- нікель-металогідрідний 15–100 %;

– літій-іонний < 2 %.

Ще однією важливою характеристикою акумуляторів є енергетична щільність, яку вказують у Вт на 1 кг ваги. Для автомобіля важливим є об'єм батареї, отже, енергетичну щільність вказують у Вт/м<sup>3</sup>. Очевидно, що чим вище енергетична щільність акумулятора, тим більше енергії він може накопичити за тієї самої ваги, й тим далі проїде транспортний засіб на батареї з виключеним ДВЗ.

Доцільно нагадати, що енергетична ємність сучасних акумуляторів дуже низька: від 30 Вт·кг у свинцевого акумулятора до 150 Вт·кг у літій-іонного. Для порівняння: енергетична ємність бензину складає 12 000 Вт·кг.

З метою компактного викладу матеріалу коротко нагадаємо переваги й недоліки сучасних типів акумуляторів.

Протягом декількох десятиліть свинцевий акумулятор (рис. 2) використовували в автомобілях як стартову батарею двигуна [6]. Його основні переваги: перевірка часом і надійність, а також недороге виробництво. Серед недоліків відзначають низьку енергетичну щільність і механічну нестабільність при повному розряді (відбувається сульфатація пластин, у результаті чого вони погано заряджаються, стають тонкими й можуть обсіпатися).

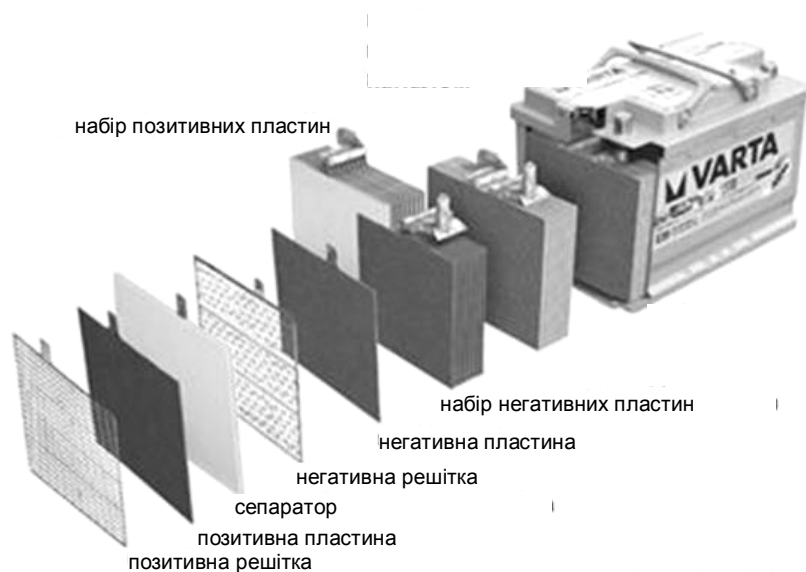


Рис. 2. Будова свинцево-кислотної акумуляторної батареї

Існують нові різновиди свинцевого акумулятора – це AGM (волоконний) і гелевий акумулятори, які можна частіше розряджати й заряджати, що є основою їх широкого використання в мікрогібридах [7].

Нікель-металогідридний акумулятор (NiMH) використовується як буферний акумулятор у гібридних автомобілях [8]. Його переваги – механічна надійність і висока енергетична щільність (близько 80 Вт/кг). Недоліки – високий рівень саморозряду, особливо у повністю зарядженому стані, і мала кількість робочих циклів після тривалого розряду. Такі батареї (див. рис. 3) використовуються в японському Приусі [9]. Залежно від модифікації, NiMH-акумулятор складається з 260 гнізд із загальною напругою 288–312 В, ємністю 6,5 А·год та енергією близько 2,5 кВт·год. Через велику кількість тепла, що виділяється, батарея має рідинне охолодження.

Найбільш перспективним для гібридних автомобілів сьогодні є акумулятор на основі літію. Існують два його основні типи: літій-іонні (Li-Ion) і літій-полімерні (Lipo, Li-Po, Li-Pol) акумулятори. Їхні характеристики практично однакові. Різниця між ними лише в типі використовуваного електроліту. Li-Po акумулятори дають більші розрядні струми, тому в автотехніці використовуються, в основному, тільки вони.

Такі акумулятори також поширені в електронній техніці (мобільні телефони, ноутбуки) завдяки своїм перевагам:

- висока енергетична щільність (близько 150 Вт/кг);
- велика кількість робочих циклів;
- низький саморозряд.

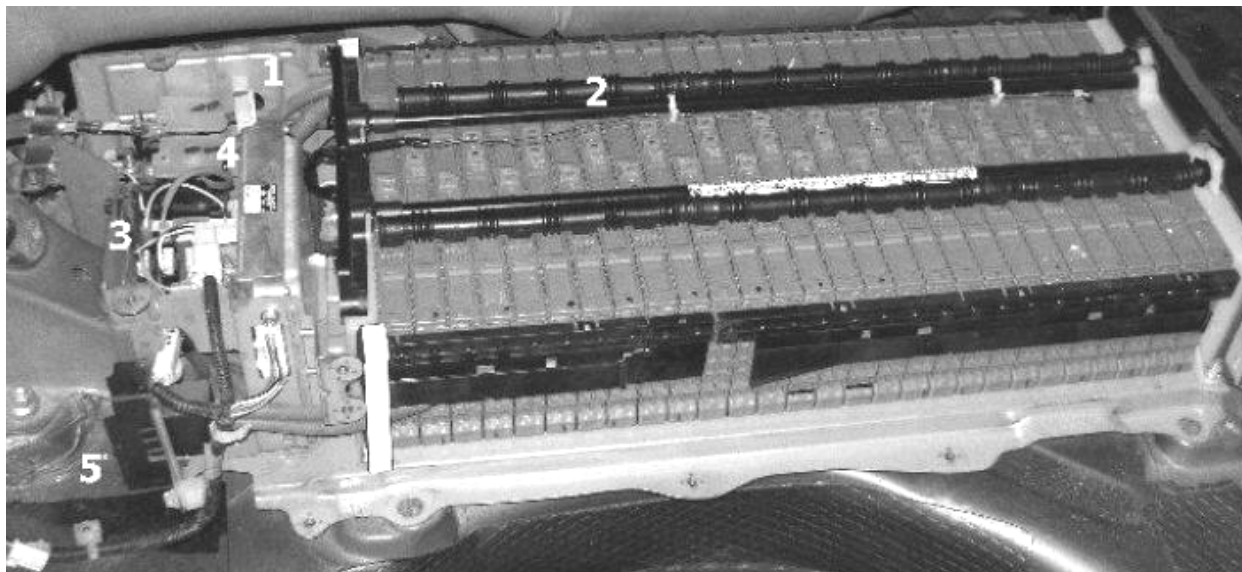


Рис. 3. Нікель-металогідридна батарея й розташування частини елементів керування:  
1 – датчик струму; 2 – високовольтна батарея; 3 – навантажувальний опір;  
4 – блок керування батареєю; 5 – рознімання захисної заглушки

Однак імідж літій-іонних батарей останнім часом дещо знизився. Під час заряду акумулятор сильно нагрівається, тому процес необхідно контролювати й вчасно зупиняти. Відомі випадки, коли через несправний зарядний пристрій температура літій-полімерного акумулятора підвищувалася настільки, що він загорявся.

Використання такого акумулятора зобов'язує виробників передбачати додаткові заходи безпеки: комірки розташовані в спеціальному гелі для зменшення наслідків вібрації й удару; корпус акумулятора виконаний з міцної сталі; акумулятор контролює електроніка й часто інтегрує його в контур кондиціонера для охолодження. Якщо перегрів все-таки виникне, то спеціальний клапан в акумуляторі скине надлишковий тиск в атмосферу.

Літій-полімерний акумулятор (рис. 4) уже використовується в гібридних автомобілях і має такі характеристики: складається з 35 комірок із загальною напругою 120 В, його потужність 800 Вт [10].

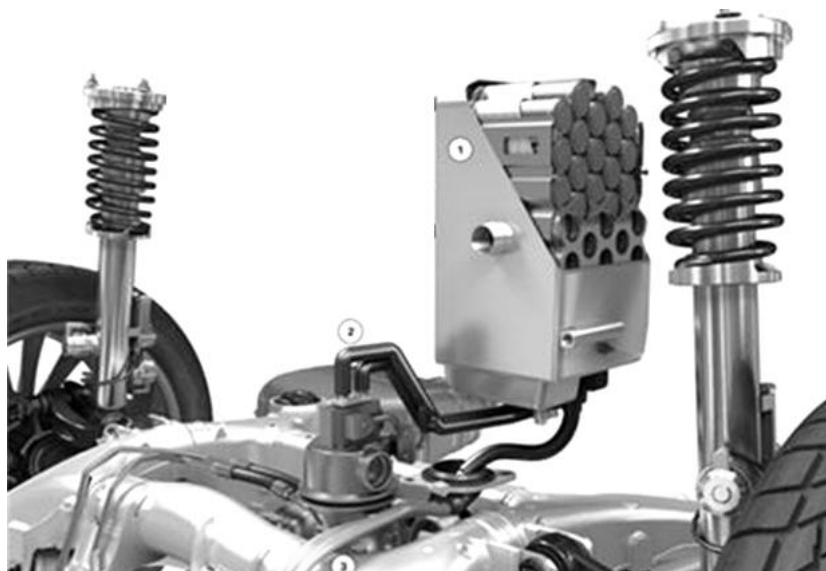


Рис. 4. Літій-полімерний акумулятор на гібриді Хонда

Наступним кроком є літій-фосфатні (Li-Fe) акумулятори, вони ж літій-залізо-фосфатні (LiFePO<sub>4</sub>), літій-нанофосфатні. Це останнє покоління акумуляторів. Їх основні переваги: відсутність ефекту пам'яті, вкрай низька швидкість саморозряду (3 % на рік), прекрасна експлуатація в морозних умовах

(діапазон температур для Li-Fe від  $-30$  до  $+60$  °C), час, необхідний для повного заряду, складає 15–20 хв. Літій-фосфатні акумулятори не бояться коротких замикань, у них найбільший струм віддачі із усіх існуючих акумуляторів – до 50С. І найголовніше – вони не горять і не вибухають. До того ж такі акумулятори дозволяють виконати до 1 000 циклів зарядки-розрядки.

Серед інших типів акумуляторів, які можна було б використовувати в гібридній техніці, назвемо нікель-кадмієвий (Ni-Cd), що був попередником нікель-металогідридного. У нього схожі характеристики, але він більш надійно переносить повний розряд, тому часто використовується в електрокарах. Істотним недоліком є наявність ефекту пам'яті – після часткового (неповного) розряду такий акумулятор не заряджається повністю. Через те, що для гібридних автомобілів це дуже важливо, використання такого акумулятора недоцільно. Для зменшення такого ефекту необхідно повністю розряджати акумулятор перед зарядкою (вручну або за допомогою спеціальних зарядних пристроїв).

Ще один тип – високотемпературний акумулятор Zebra (рис. 5), який має низку чудових властивостей [10]. Його переваги:

- висока енергетична щільність;
- велика кількість робочих циклів;
- низький саморозряд;
- відсутність отруйних речовин і дорогих компонентів.



Рис. 5. Високотемпературний акумулятор Zebra

На перший погляд, такий акумулятор ідеально підходить для систем з гібридним приводом, особливо для електромобілів, але й у цього акумулятора є істотний недолік. Електроди у ньому виконані з нікелю й занурені у розплавленій натрій. Для того щоб такий акумулятор виробляв електрику, його комірки необхідно розігріти до температури  $280$ – $350$  °C. Отже, необхідна термічна ізоляція комірок; їх потрібно обігрівати; після тривалої зупинки час прогріву акумулятора також тривалий. Варіантом вирішення цієї проблеми може бути обігрів акумулятора на непрацюючому автомобілі від іншого джерела енергії, наприклад, від домашньої мережі живлення.

Через зазначені недоліки використання такого акумулятора є доцільним тільки на автомобілях, які використовують часто й регулярно.

### **Висновки**

1. На сьогоднішній день у гібридних транспортних засобах використовуються нікель-металогідридні та літій-іонні (літій-полімерні) акумуляторні батареї з додатковим охолодженням.
2. Основним заходом безпеки в експлуатації електроустаткування є відключення всієї проводки від високовольтного акумулятора після вимикання запалювання.
3. Щоб захистити водія від можливих неприємностей, виробники запаковують усі високовольтні кабелі в надійний захисний кожух яскравого жовтогарячого кольору. Уся довжина кабелю ізолювана повністю і виключає можливість контакту з високовольтними елементами.

**Список використаних джерел**

1. Экспериментальный многоцелевой гибридный автомобиль [Текст] / А. Л. Карунин, С. В. Бахмутов, В. В. Селифонов и др. // Автомобильная промышленность. – 2006. – № 7. – С. 19–26.
2. Химические источники тока [Текст]: справочник / под ред. Н. В. Коровина и А. М. Скундина. – М. : МЭИ, 2003. – 740 с.
3. Бажинов, А. В. Методика определения основных параметров электросиловой установки гибридного автомобиля [Текст] / А. В. Бажинов, А. С. Паникарский, В. С. Боженков // Автомобильный транспорт: сб. науч. трудов. – Х. : ХНАДУ, 2009. – Вып. 25. – С.145–150.
4. Ter-Gazarian A. Energy Storage for Power Systems, volume 6 of IEE Energy Series. Peter Peregrinus Ltd., London, United Kingdom, 1994. – 196 p.
5. Автомобильная энергетика: современные направления и перспективы развития [Текст] / В. В. Карницкий, Л. И. Вахошин, И. М. Минкин, А. С. Разумнов // Автомобильная промышленность. – 2006. – № 6. – С. 33–39.
6. Сажко, В. А. Електричне та електронне обладнання автомобілів [Текст] : навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл. / В. А. Сажко. – К. : Каравела, 2004. – 304 с.
7. Кондратенко, О. П. Варіанти побудови та режими роботи транспортних засобів з гібридними силовими установками [Текст] / О. П. Кондратенко // Збірник наукових праць Академії внутрішніх військ МВС України. – 2008. – № 1. – С. 64–69.
8. Гібридні автомобілі [Текст] / О. В. Бажинов, О. П. Смирнов, С. А. Серіков та ін. – Х. : ХНАДУ, 2008. – 327 с.
9. Высоковольтная батарея на Toyota Prius [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.toyota-prius-club/articles-about-toyota-prius/35-vvb-toyota-prius.html>. – Загл. с экрана.
10. Сухомлин, О. Высокотемпературный аккумулятор Zebra / О. Сухомлин [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.autoexpert.in.ua/>. – Загл. с экрана.

*Стаття надійшла до редакції 20.06.2012 р.*