

УДК 629.3+504

О.П.Смирнов

Харківський національний автомобільно-дорожній університет

ВИБІР ТА РОЗРАХУНОК ДЖЕРЕЛА ЖИВЛЕННЯ ДЛЯ ЕЛЕКТРОМОБІЛЯ

В роботі розглянуто проблема створення системи живлення для електромобіля. Проведено порівняльний аналіз акумуляторних батарей. Виконано розрахунок джерела живлення для електромобіля.

Ключові слова: *електромобіль, джерело живлення, акумуляторна батарея, пробіг, режим руху.*

Постановка проблеми. В теперішній час зростає потреба в ефективних та екологічно чистих автотранспортних засобах (АТЗ). Екологічні проблеми сучасності у більшій мірі пов'язані з використанням традиційного моторного палива у двигунах внутрішнього згорання (ДВЗ). Цю проблему можна вирішити завдяки прогресивним розробкам у таких напрямках, як енергоємні накопичувачі електричної енергії, силова електроніка, тягові електричні двигуни, новітні системи керування та інші енергозберігаючі, ефективні та екологічно чисті технології. Екологічно чисті автомобілі (електромобілі та гібридні автомобілі) використовують електричний привід та електричні джерела енергії. У найближчі п'ять років, за оцінками експертів, цей сегмент автомобільної промисловості буде стрімко розвиватися.

Дане дослідження присвячено підвищенню екологічної чистоти та економічності автомобілів за рахунок вибору джерела живлення та розрахунку його енергоємності для потреб міського автомобіля класу А. В якості джерела енергії будуть проаналізовані, обрані та розраховані традиційні для електромобіля накопичувачі енергії – акумуляторні батареї різних електрохімічних систем.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. За прогнозами аудиторсько-консалтингової компанії PriceWaterhouseCoopers до 2015 р. світове виробництво електромобілів виросте до 500 тис. шт. на рік. Це підтверджується планами США прискорити виробництво електричних транспортних засобів та довести їх на дорогах країни до 1,2 мільйона штук к 2015 р.[1].

Прогрес у напрямку створення електромобілів та гібридних автомобілів неможливий без розвитку енергоємних джерел енергії: акумуляторних батарей, суперконденсаторів, водневих паливних елементів, маховиків та ін. [2-4].

В якості об'єкта дослідження доцільно обрати міський автомобіль особо малого класу. Автомобіль класу А – це невеликий за розмірами та масою автомобіль, призначений для щоденної експлуатації в міських умовах. Динамічні та ходові якості досить задовільні. Основна перевага автомобілів А класу – невеликі габарити. Він комфортний для двох чоловік і невеликого багажу. Автомобіль ідеальний за розмірами для поїздок по місту. К таким автомобілям відносяться Smart, Daewoo Matiz, Ford Ka, Renault Twingo, Peugeot 107, VW Lupo та ін. Тому при визначенні компонентів системи живлення автомобіля класу А, будемо вважати, що повна маса електромобіля з акумуляторними батареями становить 1000 кг. Для того щоб приводити його до руху в міському циклі з прискоренням не менш 1 м/с необхідна потужність тягового електричного двигуна може коливатися від 30 до 60 кВт.

Статистика показує, що 75 % легкових автомобілів в Європі проїжджають на день не більше 40 км, а близько 50 % – до 20 км. Для автомобіля це фактично означає, як мінімум 2 поїздки, по 10...20 км в кожну сторону. Характерним режимом експлуатації автомобіля є поїздки на роботу і назад. При середній швидкості близько 30 км/год., це означає, що тривалість поїздки становить 20...40 хв. Виходячи з визначеної потужності тягового електричного двигуна проведемо дослідження та вибір акумуляторних батарей з метою того, щоб дальність пробігу на одному заряді акумуляторних батарей у міському режимі руху був не менш 100 км, що задовольнить майже 95 % власників легкових автомобілів.

Мета роботи (постановка завдання). Дана робота має за мету підвищення екологічної чистоти та паливної економічності автотранспортних засобів за рахунок створення системи живлення міського електромобіля. Дане дослідження є продовженням робіт в галузі створення екологічно чистих автомобілів.

Вибір та розрахунок джерела живлення для міського електромобіля. Тягові акумуляторні батареї є однією з основних складових елементів електромобілів. Як показує практика, однієї з головних перешкод, що стримують широку комерціалізацію електромобілів, є невелика дальність пробігу без підзарядки, яка обумовлена невисокими значеннями питомої енергоємності акумуляторних батарей або інших джерел та накопичувачів енергії. Іншим суттєвим недоліком, властивим електромобілям, є висока вартість та маса батарей.

Проведений аналіз показав, що електромобілі та інший автономний електричний транспорт протягом останніх 20 років оснащувалися акумуляторними батареями різних електрохімічних систем: свинцево-кислотними (Pb), нікель-метал-гідридними (NiMH), літій-іонними (Li-Ion) або літій-полімерними (Li-pol), а також натрій-метал-хлоридними (ZEBRA) акумуляторними батареями.

Результати проведеного аналізу основних параметрів акумуляторних батарей різних електрохімічних систем зведені у табл. 1.

Таблиця 1

Порівняння параметрів акумуляторів різних електрохімічних систем

| Тип батареї | | Pb | NiMH | Li-Ion, Li-pol | ZEBRA |
|---------------------------------|------------------------|------------|-------------|-------------------|-------------|
| Параметри акумуляторів | | | | | |
| 1 | | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Питома енергоємність | практична, Вт·год./кг | 30...50 | 50...100 | 80...150 | 80...120 |
| | теоретична, Вт·год./кг | 130 | 300 | 450 | 788 |
| Питома потужність, Вт/кг | | 180 | 1000 | 5000 | 200 |
| Напруга елемента, В | | 2,10 | 1,25 | 3,2 | 2,58 |
| Ресурс, кількість повних циклів | | 200...1000 | 1000...2000 | до 20000 | 1000...2500 |
| Швидкий заряд, год. | | 6...8 | 2...4 | 0,2 | 6...8 |
| Саморозряд, % за місяць | | 5 | 30 | 10 | 100 |
| Температурний діапазон, °С | | -30...60 | -20...60 | -20...60 | 270...350 |

Кожна із досліджених акумуляторних батарей має свої переваги та недоліки і поки жодна з них не може повною мірою задовольнити вимогам розробників альтернативних транспортних засобів, тому що мають дуже малу питому енергоємність в порівнянні з традиційним бензином, питома енергоємність якого складає 12,78 кВт·год./кг. Навіть з урахуванням низького ккд двигуна внутрішнього згорання, особливо у міському режимі руху на короткі дистанції, цей показник у 10 разів перевищує найкращі показники акумуляторних батарей. До речі, питома енергоємність суперконденсаторів ще на порядок гірше, ніж у акумуляторних батарей.

Для комплектації джерела живлення електромобіля будемо обирати акумуляторні батареї з самою високою питомою енергоємністю. З табл. 1 видно, що найбільшу теоретичну питому енергоємність має акумулятор ZEBRA. Але для роботи даного акумулятора необхідно підтримувати його внутрішню температуру нарівні 270...350 °С. Тому акумуляторні батареї ZEBRA мають у своєму складі нагрівач і упаковані в сталевий двостінний ізоляційний корпус, між стінками якого є вакуумний прошарок. Необхідність термоізоляції вимагає великий розмір самої батареї ZEBRA. Наприклад, акумуляторна батарея ZEBRA Z5C важить 195 кг і запасє 16,8 кВт·год. електроенергії. Чим більше об'єм, тим менше питома площа для розсіювання тепла, тим менше потрібно енергії для підтримки робочої температури біля 300 °С. Специфічні умови роботи акумуляторної батареї ZEBRA вимагають її застосування – у електротранспорті (трамваях, тролейбусах, електрокарах), який має довготривалий режим руху. Тому акумуляторні батареї ZEBRA застосовувати у міських легкових автомобілях класу А недоцільно.

В даний час, з точки зору виробників електромобілів, найбільш перспективними електрохімічними системами акумуляторних батарей є літій-іонні. Це обумовлено найбільшою питомою енергоємністю, високою питомою потужністю, можливістю швидко заряджатися та відносно великим ресурсом роботи. Виробники електромобілів дають гарантію на тягову літій-іонну батарею до 10 років або до 100 тис. км пробігу, що достатньо для того, щоб електромобіль застарів морально раніше, ніж фізично. Крім того, літій-іонні акумулятори, в порівнянні з іншими типами акумуляторних батарей, мають досить високий потенціал до подальшого удосконалення. Тому для розрахунку системи живлення електромобіля обираємо саме літій-іонні акумуляторні батареї.

Використання у електромобілях літій-іонних акумуляторних батарей стримується економічними факторами: їх вартість становить 300...1000 \$/кВт. Для прикладу, вартість свинцево-кислотних акумуляторів складає приблизно 100 \$/кВт. Але свинцево-кислотні акумуляторні батареї поступаються літій-іонним за енергетичними показниками та довговічністю. Тому для живлення електропривода автомобіля обираємо літій-іонну акумуляторну батарею Thunder-Sky LFP 90Ah, яка спеціально спроектована китайськими виробниками для потреб електроживлення електромобілів та інших електричних транспортних засобів.

Проведемо розрахунок питомої енергоємності акумулятора Thunder-Sky LFP 90Ah

$$E_n = \frac{U \cdot I \cdot t}{m_{AKB}}, \quad (1)$$

де E_n – питома енергоємність акумулятора, Вт·год./кг; U – середня напруга на елементі, В; I – розрядний струм, А; t – час розряду, год.; m_{AKB} – маса акумулятора, кг.

Середня напруга акумулятора складає 3,2 В, ємність – 90 А·год., маса – 3 кг. Якщо розрядний струм прийняти 9 А, то розряд буде продовжуватися 10 год. За розрахунком питома енергоємність акумулятора Thunder-Sky LFP 90Ah дорівнює 96 Вт·год./кг.

Розрахуємо кількість елементів акумуляторної батареї Thunder-Sky LFP 90Ah, які необхідні для пробігу електромобіля повною масою до 1000 кг у легких, середніх та складних режимах руху електромобіля. Приклади питомого споживання енергії електромобіля, які враховують складність руху наведені у табл. 2.

Таблиця 2

Залежність питомого споживання енергії від режиму руху електромобіля

| Питома споживання енергії, Вт·год./кг·км | Режим руху |
|--|---|
| 1 | 2 |
| 0,10...0,15 | Легкі умови, рух на невеликій швидкості |
| 0,15...0,20 | Середні умови, нормальний міський рух |
| 0,20...0,25 | Складні умови, при багаторазових динамічних зрушеннях з міста, різкому гальмуванні до повної зупинки або рух на високих швидкостях. |

Проведемо розрахунок пробігу S_e електромобіля спорядженою масою 1000 кг для різних режимів руху та з різною кількістю акумуляторних батарей Thunder-Sky LFP 90Ah, км

$$S_e = \frac{E_n \cdot n \cdot m_{AKB}}{K_E \cdot m_{El}}, \quad (2)$$

де n – кількість акумуляторних батарей, шт.; K_E – питома споживання енергії електромобіля в різних режимах руху, Вт·год./кг·км; m_{El} – споряджена маса електромобіля, кг.

Результати розрахунку округлені та зведені до табл. 3. З проведеного розрахунку можна зробити висновок, що для того щоб забезпечити пробіг 100 км у міських умовах руху електромобіля спорядженою масою 1000 кг достатньо використовувати 50 акумуляторних батарей типу Thunder-Sky LFP 90Ah.

Проведемо розрахунок енергії E , яку в змозі запасти блок з 50 акумуляторних батарей Thunder-Sky LFP 90Ah, Вт·год.

$$E = E_n \cdot n \cdot m_{AKB}. \quad (3)$$

З отриманих розрахунків випливає, що блок з 50 акумуляторних батарей може запасати енергію 14,4 кВт, якої вистачить на подолання електромобілем класу А відстані 60...145 км у різних режимах руху. Для прикладу, блок акумуляторних батарей серійного електромобіля Mitsubishi i-MiEV запасає 16 кВт·год. За даними виробника пробіг Mitsubishi i-MiEV складає 160 км.

Таблиця 3

Результати розрахунку пробігу електромобіля

| Кількість батарей, шт. | Пробіг електромобіля, км | | |
|------------------------|--------------------------|--------------------|--------------------|
| | Легкі умови руху | Середні умови руху | Складні умови руху |
| 1 | 2 | 3 | 4 |
| 10 | 20...30 | 15...20 | 10...15 |
| 20 | 40...60 | 30...40 | 25...30 |
| 30 | 60...90 | 45...60 | 35...45 |
| 40 | 80...120 | 60...80 | 50...60 |
| 50 | 100...145 | 70...100 | 60...75 |
| 60 | 120...170 | 90...120 | 70...90 |
| 80 | 150...230 | 120...150 | 90...120 |

Напруга живлення блоку акумуляторних батарей електромобіля $U_{АКБ}$ розраховується за формулою

$$U_{АКБ} = n \cdot U_{Ел} , \quad (4)$$

де n – кількість акумуляторних батарей у блоку; $U_{Ел}$ – напруга одного елемента акумулятора.

Напруга живлення блоку тягових акумуляторних батарей з 50 літій-іонних елементів з урахуванням $U_{Ел}=3,2$ В буде складати 160 В, що достатнє для системи живлення електропривода автомобіля.

Проведемо далі порівняння витрат на експлуатацію електромобіля та аналогічного автомобіля з ДВЗ шляхом розрахунку собівартості проїзду 100 км шляху. Згідно з постановою НКРЕ від 17 березня 2011 року "Про зміну тарифів на електричну енергію, що відпускається населенню і населеним пунктам, та внесення змін до Порядку застосування тарифів на електроенергію, що відпускається населенню і населеним пунктам", вартість 1 кВт·год. електроенергії, що відпускається населенню та населеним пунктам (з урахуванням ПДВ) складає в залежності від категорії споживачів від 21,54 коп. до 36,48 коп. Для розрахунку приймемо середній тариф на електроенергію для населення $C_{кВт} = 0,2802$ грн. З урахуванням ккд зарядного пристрою $\eta = 90$ %, отримуємо, що собівартість пробігу на однієї зарядці акумуляторної батареї $C_{Ел}$ складає, грн.

$$C_{Ел} = \frac{E \cdot C_{кВт}}{\eta} \cdot 100. \quad (5)$$

Витрата електроенергії на повний заряд акумуляторних батарей (14,4 кВт) складає 4,48 грн. Саме цього заряду вистачає, як було розраховано раніше, на пробіг електромобілем 100 км у міському режимі руху.

Для подолання 100 км шляху в міському циклі руху сучасний легковий автомобіль класу А з ДВЗ витрачає у середньому 6 л. високооктанового бензину. Середня вартість бензину А95 на заправках України у березні 2012 р. досягла 11 грн. за літр. Тому собівартість пробігу 100 км автомобіля з ДВЗ буде складати 66 грн. Таким чином, згідно цін на паливо та електроенергію на Україні собівартість експлуатації електромобіля майже у 15 разів менш ніж собівартість експлуатації аналогічного легкового автомобіля з ДВЗ.

Висновки

Для підвищення екологічної чистоти та паливної економічності автотранспортних засобів необхідно розробляти електромобілі. В якості джерела живлення для електромобіля доцільно використовувати літій-іонні акумуляторні батареї. Дальність пробігу міського електромобіля на одному заряді акумуляторних батарей повинен бути не менш 100 км. Для електромобіля спорядженою масою 1000 кг достатньо використовувати 50 акумуляторних батарей типа Thunder-Sky LFP 90Ah. Собівартість експлуатації електромобіля майже у 15 разів менш ніж собівартість експлуатації аналогічного легкового автомобіля з ДВЗ.

1. http://www.autoobserver.com/assets/1_Million_Electric_Vehicle_Report_Final-1.pdf
2. Синергетичний автомобіль. Теорія і практика / [Бажинов О.В., Смирнов О.П., Серіков С.А., Двадненко В.Я.]. – Х.: ХНАДУ, 2011. – 236 с.
3. Гібридні автомобілі / [Бажинов О.В., Смирнов О.П., Серіков С.А. та ін.]. – Х.: ХНАДУ, 2008. – 327 с.