

# ТЕХНІЧНІ НАУКИ

УДК 658.517

## ПРОГНОЗУВАННЯ СТАНУ БАТАРЕЇ ЕЛЕКТРИЧНИХ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ ДЛЯ ОЦІНКИ ЖИТТЄЗДАТНОСТІ ПРИ КАРШЕРИНГУ

Вецько В.І., Гуляницький Л.Ф.

Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Каршерінг компанії впроваджують електричні транспортні засоби (EVs) в свій автопарк. Однак дані свідчать про те, що в даний момент з використанням електромобілів не вдається досягти задовільної комерції. Потенційною причиною цього є більш наванжене використання транспортного засобу, що характерно для короткочасної оренди автомобілів, а також їх наслідки для стану батареї (SoH). У цій статті ми прогнозуємо SoH двох однакових електромобілів, що використовуються в різних практиках автомобільного обміну. Для цього ми використовуємо дані отримані від зарядних станцій і різних датчиків EV. Отримані результати показують, що розуміння водіння користувачів та поведінки зарядки може служити цінним орієнтиром для системи короткочасної оренди автомобілів. Зокрема, результати прогнозування показують, що в той момент, коли батарея електромобіля досягає теоретичного кінця життя може відрізнятись на чверть часу, якщо транспортні засоби експлуатуються в різних умовах.

**Ключові слова:** прогнозування стану, оренда автомобілів, електричний транспортний засіб (ev), водіння і поведінка зарядки, стан здоров'я батареї (soh), деградація батареї, спільна економіка.

**Постановка проблеми.** В останні роки відбулося переосмислення особистої мобільності. Є дві основні мотивації для цього. По-перше, після десятиліть використання автомобілів, було досягнуто точку, де транспорт відповідає за 23% світових викидів. Очевидно, що теперішня система мобільності є нестійкою в її нинішньому вигляді і що необхідні нові, більш стійкі та енергоефективні рішення. По-друге, дослідження показали, що особисті транспортні засоби використовуються в середньому близько години в день [1, 2]. Припарковані більшу частину часу, вони займають цінний простір для суспільства. Цей ефект особливо помітний в міських районах, де населення продовжує зростати. За даними Всесвітньої організації охорони здоров'я, 54% від загального світового населення проживає в міських районах. Тільки в Європі, в міських районах проживає понад дві третини населення Європейського Союзу.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Одним з рішень є спільне використання автомобілів. Оренда автомобілів дозволить задовольнити потребу в особистій мобільності, при цьому забезпечуючи більш низькі витрати для фізичних осіб і більш високу зручність використання транспортних засобів, що робить автомобілі більш економічно ефективним [3]. Fellows і Pitfield аналізуючи витрати і вигоди для оцінки оренди автомобіля виявили, що люди отримують економічну вигоду за рахунок скорочення подорожей за ціною до 50%, а економіка в цілому виграє за рахунок зменшення пробігу транспортних засобів, збільшення середньої швидкості та економії в паливі, зменшення аварій та викидів. Більш систематичні результати в географічно більшому масштабі можна знайти в дослідженні Шахін і Коена [2], які визначили, що кожен автомобіль спільного користування зменшує потребу на

4-10 приватних транспортних засобів у Європі, 6-23 в Північній Америці, і 7-10 в Австралії.

**Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми.** В цій статті порівнюється вплив двох різних практик використання автомобілів спільного користування на продуктивності батареї. Це робиться за рахунок докладних даних електрокарів і даних про підзарядку для прогнозування SoH батарей двох однакових електромобілів в різних практиках. Основні дослідницькі матеріали роботи можуть бути розташовані в наступних областях: (1).

**Мета статті.** Головною метою цієї роботи є здійснення детального аналізу спільного водіння користувачів електрокарів і частоти підзарядок, з ціллю забезпечити додаткову інформацію для планування транспортної системи; (2) вплив двох різних методів обміну електрокарів на SoH батареї, оцінити життєздатність цих методів.

**Виклад основного матеріалу.** Здійснимо порівняння однакових електромобілів, що орендується за двох різних практик каршерінгу. Перший автомобіль є власністю компанії, що здає в оренду більш ніж 800 електричних і звичайних транспортних засобів. Дані автомобілі доступні для оренди більш ніж 24000 користувачів. Правилами користування прописано, що після використання користувач зобов'язаний підключити автомобіль для підзарядки, що гарантує максимально заряджений акумулятор для наступного користувача. В системі бронювання користувачі вказують приблизно скільки кілометрів і часу триватиме їхня оренда, для спрощення планування обслуговування. Другий автомобіль знаходиться в спільній власності житлового комплексу, де жильці займаються доглядом спільного майна. Підхід заснований на понятті спільної економіки. Автомобіль активно експлуатується серед 35 членів. Система бронювання передбачає

вказування часових інтервалів, протягом якого буде експлуатуватися автомобіль. Підзарядка транспортного засобу здійснюється тільки з ініціативи користувача. В обох випадках автомобіль повинен бути повернутий в початковий пункт. Обидва автомобілі експлуатуються в однакових кліматичних умовах та регіоні.

Для того, щоб забезпечити якомога повне розуміння того, як були використані електромобілі, детально досліджувалися манера водіння і зарядка обох груп користувачів. Дані зарядки було зібрано від зарядних станцій. Дані водіння було зібрано з транспортних засобів за допомогою GPS (переміщення) та CAN шини (швидкість автомобіля, струм, напруга, часові мітки, заряд, стан двигуна).

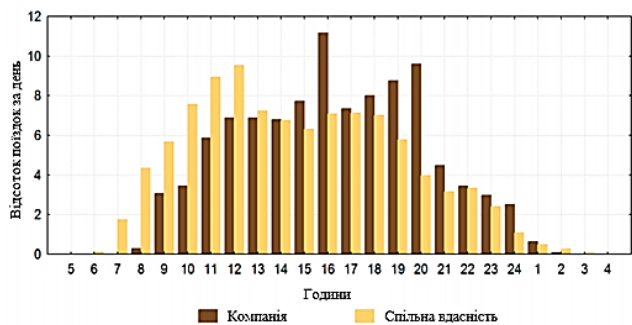


Рис. 1. Поведінка водіння, розподіл щоденних поїздок

Джерело: розроблено автором

З огляду на використання загальних електромобілі, автомобіль обміну членів компанії, як правило, використовують його в основному в якості другого автомобіля, з високою частотою в другій половині дня і у вихідні дні дисків (22% всіх водів були зроблені у суботу). Члени спільного житла були більш схильні використовувати загаль-

ний EV в ранкові години (рис. 1). При розгляді питання про тривалість зроблених поїздок, 72% поїздок користувачів спільно для будинку були коротше, ніж в 10 км. Згідно з офіційною статистикою стверджує, що середня поїздка автомобіля у Фландрії становить приблизно 34,4 км; середня поїздка зроблені електромобілі належать автомобіля обміну компанії було 32,56 км, а шляхом спільного житла, 8,4 км.

З огляду на перезарядку, члени спільного житла, як правило, підзаряджали автомобіль зранку або пізно ввечері. Автомобіль каршерінгової компанії підключався після кожного використання. Таким чином автомобіль не буде від'єднано від зарядного пристрою до наступного використання, що іноді може зайняти більше тижня. В цілому, 7,6% підзарядок були зроблені з super charge. Всі перезарядки членами спільного житла були коротше, ніж день, де 33% з них були мене півгодини, і 4% з super charge.

Правила оренди також впливають на кількість зарядок в день. Для автомобілів каршерінгової компанії, число перезарядок переважно відповідає кількості користувачів в день (переважно один). Для спільного використання, транспортний засіб часто заряджається більше, ніж один раз в день. Беручи до уваги SoC батареї, то в 20% випадках автомобілі компанії заряджалися, але SoC батареї було вище, ніж 90%. У більшості випадків, батарея залишалася до повної зарядки. Для членів спільно використання, батарея повністю зарядилася тільки в половині випадків, в той час як значення SoC, при якому акумулятор був підключений на підзарядку, був більш рівномірно розподілений (рис. 2).

Для того, щоб оцінити вплив практика каршерінгу, поведінку водіння та зарядки батареї електрокару, ми досліджували SoH, що визначаються як різниця між корисною місткістю і кін-

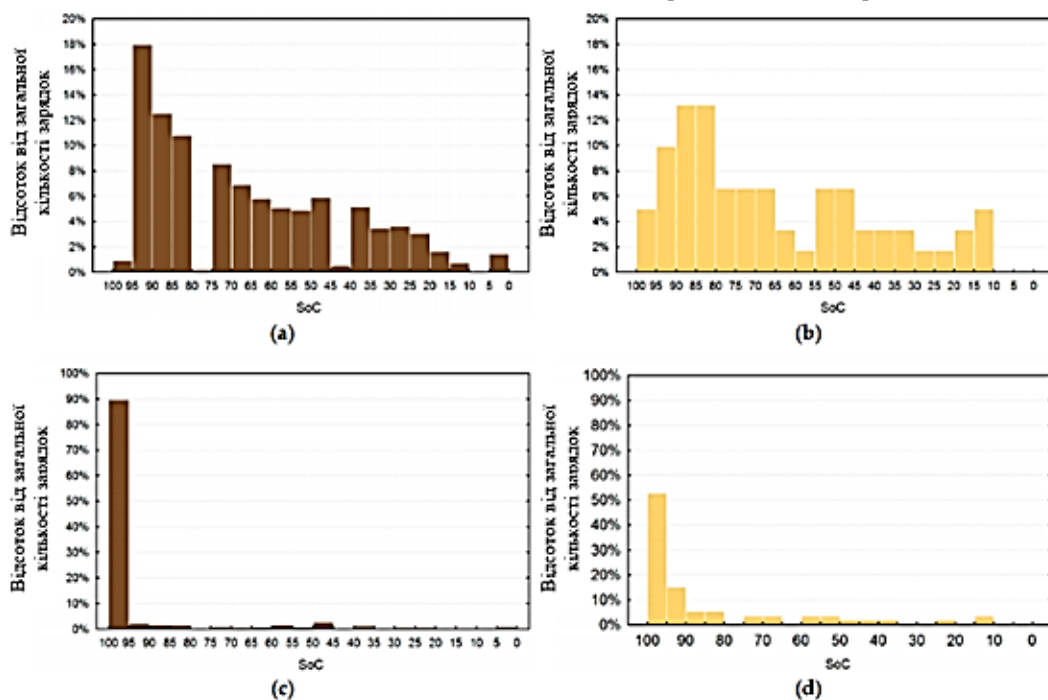


Рис. 2. Поведінки зарядки – стан заряду (SoC) на початку і в кінці зарядки; (a,c) SoC на початку та кінці зарядки для каршерінг компанії; (b,d) SoC на початку та кінці зарядки для автомобіля в спільній власності

Джерело: розроблено автором

цевою місткістю [6]. SoH зазвичай виражається у вигляді відсотка від номінальної потужності і є мірою довгостроковості батареї [4, 5]. У порівнянні з SoH, SoC визначається як відсоток від доступної ємності і є мірою короткочасної здатності батареї. Більш детально, SoC показує залишковий заряд батареї в даний момент, в порівнянні з енергією при повному заряді, що дає уявлення про те, скільки батарея працюватиме до наступної перезарядки. В аналогії зі звичайними автомобілями, SoC відповідає паливному манометру, в той час як SoH буде відповідати здатності паливного бака зберігати паливо. У цій аналогії, паливний бак матиме змінний доступний обсяг.

У даній роботі SoH розраховується з даних експлуатації, в той час як SoC зібрана з CAN шини. Дані з CAN шини засобів зібрані з частотою 10 Гц. На рисунку 3. показано миттєва передача потужності батареї (W) з плином часу під час експлуатації.

На основі миттєвої передачі потужності батареї сумарна чиста енергія подається від акумуляторної батареї може бути обчислена шляхом трапецієподібної чисельного інтегрування струму батареї (I) і напруги (V) з плином часу, як показано рівнянням:

$$E_{te} = \int V * I dt \quad (1)$$

Крім того, знаючи SoC, на початку (SoC<sub>1</sub>) і в кінці (SoC<sub>2</sub>), SoH може бути визначений на основі рівняння:

$$SoH = \frac{E_{te}}{SoH_{100\%} * (SoC_1 - SoC_2)} \quad (2)$$

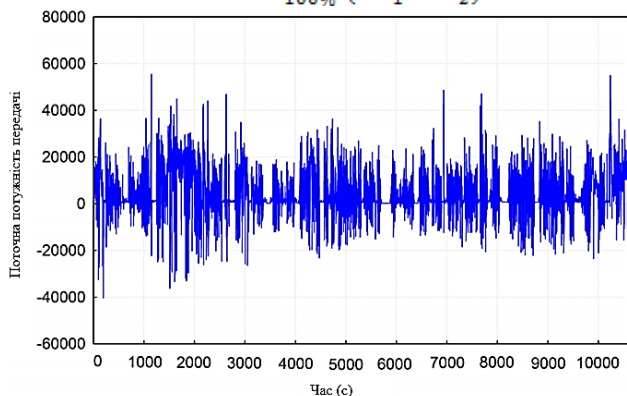


Рис. 3. Графік V\*I(W)

Джерело: розроблено автором

Для обох електромобілів, використовуючи обчислення SoH з секції методології, ми визначили значення SoH для кожного циклу розрядки. Кількість записаних циклів трохи розрізнялися, для транспортного засобу, що належить компанії, було 59 і для автомобілю, що є спільній власності – 63. У літературі вказується, що протягом перших 500 циклів або близько того, ємність змінюється лінійно, обчислені значення SoH були використані для визначення цього лінійного тренда.

Для оцінки лінійного тренда доброті напад і його застосовності для прогнозування майбутніх SoH елементів живлення, ми розрахували найменше квадратичне відхилення, середнє відхилення, відносно квадратичну похибку та відносне абсолютне відхилення.

$$LSD = \frac{\sum_{i=1}^N (E_i - O_i)^2}{N-1} \quad (3)$$

$$AD = \frac{\sum_{i=1}^N |E_i - O_i|}{N-1} \quad (4)$$

$$RSE = \frac{\sum_{i=1}^N [(E_i - O_i)/E_i]^2}{N-1} \quad (5)$$

$$RAD = \frac{\sum_{i=1}^N |E_i - O_i|/E_i}{N-1} \quad (6)$$

де: N – число спостережень або сума ваг; E<sub>i</sub> – передбачене значення випадку i.

Таблиця 1 містить більш детальний аналіз оцінки лінійного тренда для обох автомобілів.

Таблиця 1

Достовірність лінійних оцінок

Достовірність виміру	Спільна власність	Каршерінг компанія
LSD	1.605182	1.699434
AD	0.949703	1.07033
RSE	0.000184	0.00030
RAD	0.010116	0.01410

Джерело: розроблено автором

Як правило, це прийнято в автомобільній промисловості, що авершеніе батареї життя є кількість повних циклів заряду-розряду, батарея може виконувати до його номінальної потужності падає нижче 80% від його первісної номінальної потужності [7]. Рис. 4 забезпечує екстраполяцію лінійних трендів як для EV батареї, поки вона не перетне кінець життя кордону.

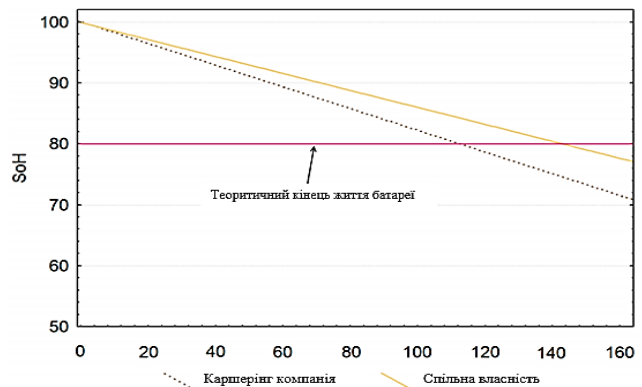


Рис. 4. Лінійна екстраполяція SoC тенденції і теоретичний кінець життя кордону

Джерело: розроблено автором

**Висновки.** Отже, дані від зарядних станцій і датчиків електрокарів можуть бути успішно використані для прогнозування SoH батареї. Крім того, було збагачено існуючі імітаційні моделі в області оцінки SoH з емпіричним підтвердженням аналізу. Аналіз оснований на даних з двох однакових електромобілях, використання яких відрізнялися в середньому SoC, DoD, і відсоток використання super charge. Результати вказують на те, що відстрочення зарядки і нижче менше використання super charge можуть уповільнити процес деградації батареї.

Крім того, деградація батареї пов'язана з вартістю батареї і вартості автомобіля (вартість батареї близько 54% від загальної вартості автомобіля). Дані висновки можуть бути цінним довідником для каршерінгу електрокарів, так як вони вказують на потенційні оновлення, які можуть бути інтегровані в існуючі системи каршерінгу.

**Список літератури:**

1. Meijkamp R. Changing consumer behaviour through eco-efficient services: An empirical study of car sharing in the Netherlands. *Bus. Strategy Environ.* 1998, 7, 234-244.
2. Shaheen S.A.; Cohen A.P. Growth in worldwide carsharing: An international comparison. *Transp. Res. Rec. J. Transp. Res. Board* 2007, 1992, 81-89.
3. Fellows N.; Pitfield D. An economic and operational evaluation of urban car-sharing. *Transp. Res. D Transp. Environ.* 2000, 5, 1-10.
4. Nikolian A.; Firouz Y.; Gopalakrishnan R.; Timmermans J.-M.; Omar N.; van den Bossche P.; van Mierlo J. Lithium ion batteries – Development of advanced electrical equivalent circuit models for nickel manganese cobalt lithium-ion. *Energies* 2016, 9, 360.
5. Le D.; Tang X. Lithium-ion battery state of health estimation using Ah-V characterization. In *Proceedings of the Annual Conference of Prognostics and Health Management (PHM) Society, Montreal, QC, Canada, 20-23 June 2011.*
6. Marra F.; Trzholt C.; Larsen E.; Wu Q. Average behavior of battery-electric vehicles for distributed energy studies. In *Proceedings of the 2010 IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies Conference Europe (ISGT Europe), Gothenburg, Sweden, 11-13 October 2010.*
7. Magnor D.; Gerschler J.B.; Ecker M.; Merk P.; Sauer D.U. Concept of a battery aging model for lithium-ion batteries considering the lifetime dependency on the operation strategy. In *Proceedings of the European Photovoltaic Solar Energy Conference, Hamburg, Germany, 21-25 September 2009.*
8. Cars 21. How to Reduce EV Production Costs? *EV Battery Tech USA*. 2011. Available online: <http://www.cars21.com/news/view/670> (accessed on 18 October 2016).

**Вецко В.И., Гуляницький Л.Ф.**

Национальный технический университет Украины  
«Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского»

## **ПРОГНОЗИРОВАНИЕ СОСТОЯНИЯ БАТАРЕИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ОЦЕНКИ ЖИЗНЕСПОСОБНОСТИ ПРИ КРАТКОСРОЧНОЙ АРЕНДЕ АВТОМОБИЛЯ**

### **Аннотация**

Краткосрочную аренду автомобилей компании внедряют электрические транспортные средства (EVs) в свой автопарк. Однако данные свидетельствуют о том, что в данный момент с использованием электромобилей не удастся достичь удовлетворительного коммерции. Потенциальной причиной этого является более нагружено использования транспортного средства, что характерно для кратковременной аренды автомобилей, а также их последствия для состояния батареи (SoH). В этой статье мы прогнозируем SoH двух одинаковых электромобилей, используемых в различных практиках автомобильного обмена. Для этого мы используем данные полученные от зарядных станций и различных датчиков EV. Полученные результаты показывают, что понимание вождения пользователей и поведения зарядки может служить ценным ориентиром для системы кратковременной аренды автомобилей. В частности, результаты прогнозирования показывают, что в тот момент, когда батарея электромобиля достигает теоретического конца жизни может отличаться на четверть часа, если транспортные средства эксплуатируются в различных условиях.

**Ключевые слова:** прогнозирование состояния, аренда автомобилей, электрическое транспортное средство (ev) вождения и поведение зарядки, состояние здоровья батареи (soh) деградация батареи, общая экономика.

**Vetsko V.I., Gulianitskii L.F.**

National Technical University of Ukraine  
«Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute»

## **FORECASTING STATE OF BATTERY OF ELECTRIC VEHICLES FOR ASSESSMENT OF VIABILITY FOR CAR SHARING**

### **Summary**

Car-sharing companies are introducing electric vehicles into their fleet. At this point shared electric vehicles systems are failing to reach satisfactory commercial viability. A potential reason for this is the effect of higher vehicle usage, which is characteristic of car sharing, and the implications on the battery's state of health (SoH). In this paper, we forecast the SoH of two identical EVs being used in different car-sharing practices. For this purpose, we use real life transaction data from charging stations and different electric vehicles sensors. The results indicate that insight into users' driving and charging behavior can provide a valuable point of reference for car-sharing system designers. In particular, the forecasting results show that the moment when the battery of an electric vehicle reaches its theoretical end of life can differ in as much as a quarter of the time when vehicles are shared under different conditions.

**Keywords:** state prediction, carsharing, electric vehicle (ev), driving and charging behavior, battery state of health (soh), degradation of the battery, common economy.