

УДК 629.113

ОБГРУНТУВАННЯ ОПТИМАЛЬНОЇ КІЛЬКОСТІ ЗАРЯДНИХ СТАНЦІЙ ЕЛЕКТРОМОБІЛІВ

О.В.Бажинів, проф., д-р техн. наук,
Е.М. Кикла, асп.

Харківський національний автомобільно-дорожній університет, м. Харків

Оптимальна кількість і ефективність діяльності зарядних станцій можуть бути визначені лише на основі сучасних наукових методів оптимального проектування виробничих процесів на принципах ресурсозбереження та високої продуктивності. Тому необхідно встановити ефективні співвідношення між кількістю вступників за одиницю часу заявок і продуктивністю або пропускнуою спроможністю відповідної зарядної станції [1,2].

Зарядні процеси є типовими системами масового обслуговування. Основне завдання при цьому полягає у встановленні ефективних співвідношень між кількістю вступників за одиницю часу заявок і продуктивністю або пропускнуою спроможністю відповідної зарядної станції.

Складність при цьому полягає в тому, що через випадкового характеру надходження заявок за часом можливі як освіта черзі цих заявок з відповідним очікуванням, так і простої устаткування зарядної станції через відсутність заявок. Розроблені наукові методи повинні забезпечити мінімальні втрати від цих простоїв як для обслуговуваних, так і для обслуговуючих засобів.

Визначаємо, кількість транспортних засобів в групі m

$$m = \frac{F_{\text{п}}}{D_{\text{кп}} \alpha_{\text{к}} W_m T_{\text{см}} K_{\text{СН}}} \leq m_{\text{Д}} \quad (1)$$

де $F_{\text{п}}$ – кількість рухомого складу в розрахунковій області, шт;

$D_{\text{кп}}$ – період, який обслуговується, год;

$\alpha_{\text{к}}$ – середній коефіцієнт використання часу зміни;

W_m – продуктивність однієї зарядної станції, шт/год;

$T_{\text{см}}$ – нормативна тривалість зміни, год.

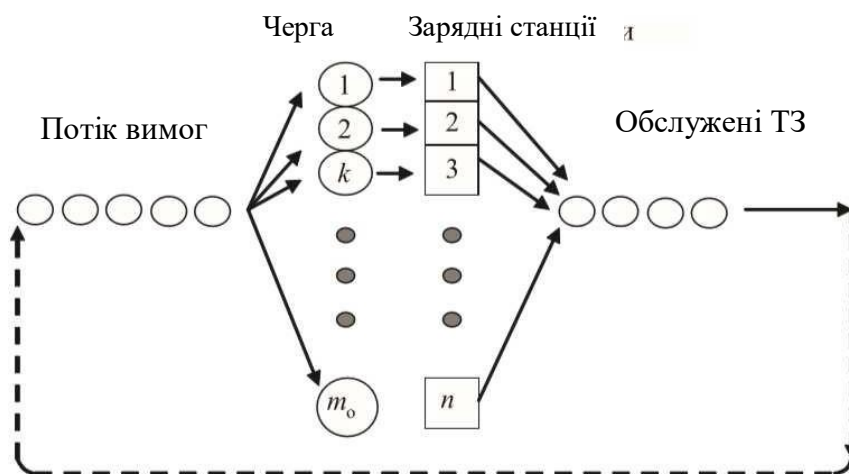


Рисунок 1 – Схема роботи мережі зарядних станцій

Також авторами представлена схема роботи мережі зарядних станцій у вигляді замкнутої системи масового обслуговування з очікуванням (рис. 1).

Таким чином, m – транспортні засоби, які очікують у черзі; n – зарядні станції. Основна ідея роботи: зниження часу простоїв які обслуговуються, так і обслуговуючих елементів системи масового обслуговування.

Для спрощення завдання беруть $n = 1$, перевіряючи пропускну здатність однієї зарядної станції з мінімальною чергою.

$$\overline{C_{mn}} = m_0 \frac{C_m}{C_n} + P_0 \rightarrow \min, \quad (2)$$

де m_0 – довжина черги;

P_0 – ймовірність простою обслуговуючого засоби;

C_m и C_n – вартість обслуговується і обслуговуючого засобів відповідно.

$$P_0 = 1 / ((1 + m\alpha + m(m-1)\alpha^2 + \dots + m(m-1)\alpha^m)) \quad (3)$$

$$m_0 = m - (1 - P_0)(1 + (1/\alpha)) \quad (4)$$

Методика даної роботи призводить розрахунок оптимальної кількості зарядних станцій в залежності від кількості електромобілів на основі теорії масового обслуговування.

Переваги: розглянуті основні показники ефективності роботи мережі зарядних станцій, отримані ймовірнісні математичні моделі, призводять до підвищення ефективності роботи зарядних станцій, визначення оптимальної кількості зарядних станцій.

Застосовуючи цю методику можна визначити оптимальну кількість зарядних станцій, необхідне для певної кількості електромобілів, виходячи з мінімізації простоїв і черг. Однак, формула (2) не враховує неоднорідність надходження заявок в систему. Так в нічний час заявок буде значно менше [3].

Розрахунки проводяться на основі мінімізації простоїв як обслуговуючих, так і обслуговуються засобів. У сучасних реаліях даний підхід не може бути реалізований, тому що зарядні станції і електромобілі належать різним особам з різними пріоритетами [4-7]. Так власники зарядних станцій прагнуть залучити якомога більше відвідувачів, основна мета - відсутність простоїв в роботі. Власники електромобілів в свою чергу очікують відсутність черги і безперешкодну зарядку. Дані бажання взаємно виключають одна одну.

При застосуванні методики результат не вказує на місця установки зарядних станцій, що є дуже важливим питанням з огляду на тривалість технологічного процесу зарядки.

Одне з ключових питань роботи - підключення зарядних установок до діючої електричної мережі. Об'єктом дослідження в даній роботі є вивчення параметрів розміщення електростанцій в м. Харків на основі моделювання Matlab Simulink. Метою досліджень є вивчення впливу кількості та параметрів зарядних установок на режими роботи електричних мереж. При моделюванні вивчаються такі показники, як віддаленість трансформаторних підстанцій від міської розподільної мережі, їх завантаженість і графік роботи, кількість одночасно установлених автомобілів і режимів їх зарядки.

Для досягнення мети дослідження використано програмний продукт Matlab Simulink, який дозволяє розглядати і регулювати режими електричної мережі в віртуальній моделі. Розраховується максимальна кількість зарядних станцій, які можливо підключити до трансформаторної підстанції, з урахуванням потужності споживачів. За результатами модельного досвіду робиться висновок про кількісні та якісні параметри розміщення електростанцій.

Модель складається з декількох блоків: джерело трифазного напруги (Three-Phase Source), трифазний вимірювач (Three-Phase VI Measurement), лінія з розподіленими параметрами (Distributed Parameters Line), трифазний трансформатор (Three-Phase Transformer), навантаження (Three-Phase Parallel RLC Load). С урахуванням потужності

споживачів розраховується, максимальна кількість зарядних станцій, які можливо підключити до трансформаторної підстанції. Аналіз математичної моделі показує, що підключення заправних станцій в електричну мережу не викликає аварійних ситуацій і значних перешкод у інших споживачів.

Переваги роботи: розгляд питань розміщення зарядних станцій з точки зору міської мережі електропостачання і навантаження на цю мережу.

Недоліки: висока кваліфікація людини, яка проводить моделювання, не враховуються питання кількості електромобілів в місті, відсутні шляхи визначення місць установки зарядних станцій в інтересах споживача.

Застосування даної методики дозволяє визначити максимально можливу кількість зарядних станцій, яка може бути встановлено в населеному пункті, без шкоди для системи електропостачання.

Для електромобілів важливо мати ефективне управління процесом заряджання, що дозволяє досягти високого рівня само споживання і самодостатності, знизити операційні витрати і скоротити терміни окупності інвестицій. Використання зарядних станцій є ключем до досягнення цих цілей, забезпечуючи точне моделювання та прогнозування. Їх використання в контексті зарядки електромобілів може запропонувати цінну інформацію для оптимізації планування зарядки і прогнозування попиту на енергію з урахуванням різних сценаріїв.

У роботі представлено методику, виконану для впровадження зарядних станцій в межах міста. Застосовані сценарії інфраструктури розміщення зарядних станцій підтримують ефективно та оптимізоване управління, досягаючи низької окупності та високих значень самодостатності. Отримані результати показують, що цей метод є життєздатним і економічно ефективним рішенням для експлуатації електромобілів.

Список використаних джерел

1. Quantifying the State of the Art of Electric Powertrains in Battery Electric Vehicles: Comprehensive Analysis of the Tesla Model 3 on the Vehicle Level by Nico Rosenberger, Philipp Rosner, Philip Bilfinger, Jan Schöberl, Olaf Teichert, Jakob Schneider, Kareem Abo Gamra, Christian Allgäuer, Brian Dietermann, Markus Schreiber et al. *World Electr. Veh. J.* 2024, 15(6), 268; <https://doi.org/10.3390/wevj15060268> Available online: <https://www.mdpi.com/2032-6653/15/6/268>
2. Electrochemical Impedance Spectrum (EIS) Variation of Lithium-Ion Batteries Due to Resting Times in the Charging Processes by Qingbo Li, Du Yi, Guoju Dang, Hui Zhao, Taolin Lu, Qiyu Wang, Chunyan Lai and Jingying Xie *World Electr. Veh. J.* 2023, 14(12), 321; <https://doi.org/10.3390/wevj14120321> Available online: <https://www.mdpi.com/2032-6653/14/12/321>
3. Beyond Tailpipe Emissions: Life Cycle Assessment Unravels Battery's Carbon Footprint in Electric Vehicles by Sharath K. Ankathi, Jessey Bouchard and XinHeWorldElectr.Veh.J. 2024, 15(6),245; <https://doi.org/10.3390/wevj15060245> Availableonline: <https://www.mdpi.com/2032-6653/15/6/245>
4. Аулін В.В., Кульова Д.О., Гриньків А.В., Лисенко С.В. Оцінювання ризиків несхоронних перевезень нафтопродуктів автомобільним транспортом. *Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки.* 2024. Вип. 10(41), ч.ІІ, С. 205-213. DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2024.10\(41\).2.205-213](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2024.10(41).2.205-213)
5. Кульова Д.О., Магопєць С.О., Лівіцький О.М. Безпека дорожнього руху в Україні: оцінювання ризиків і перспективи цифровізації. *Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки.* 2025. Вип. 11(42), ч.ІІ. С. 298-312. DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2025.11\(42\).2.278-285](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2025.11(42).2.278-285)
6. Кульова Д.О. Застосування концептуального підходу ризик-менеджменту в сфері безпеки руху на транспорті. *Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки.* 2024. Вип. 10(41), ч.І. С. 261-269. DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2024.10\(41\).1.261-269](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2024.10(41).1.261-269)
7. Аулін В.В., Кульова Д.О., Варваров В.В. Виявлення, аналіз і прогнозування параметрів ризику безвідмовного навантаження готової продукції на транспортно-логістичному терміналі підприємства. *Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки.* 2025. Вип. 11(42), ч.І. С. 263-271. DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2025.11\(42\).1.263-271](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2025.11(42).1.263-271)