

УДК 621.8

Д. В. Міронов, к.т.н.; Б. Р. Митулинський; В. О. Романюк; В. С. Перестюк
(Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна)

РОЗРОБКА МЕТОДИКИ РЕАЛІЗАЦІЇ МЕРЕЖІ ЗАРЯДНИХ СТАНЦІЙ ДЛЯ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ З ЕЛЕКТРИЧНИМ ПРИВОДОМ

D. V. Mironov, Ph.D.; B. R. Mytulinsky; V. O. Romanyuk; V. S. Perestyuk

DEVELOPMENT OF A METHODOLOGY FOR IMPLEMENTING A NETWORK OF CHARGING STATIONS FOR ELECTRIC VEHICLES

Планування оптимального розміщення зарядних станцій у місті Тернопіль є важливим завданням для забезпечення ефективного використання електромобілів та задоволення потреб їх власників. Зарядні станції підключаються до енергомережі Тернопільобленерго з урахуванням технічних можливостей та вимог енергетичної інфраструктури міста. Підключення зарядних станцій до енергомережі здійснюється шляхом приєднання до існуючих розподільчих мереж низької або середньої напруги. Для цього необхідно провести аналіз пропускну здатності електричних мереж у потенційних місцях встановлення станцій. У випадку використання зарядних станцій типу Wallbox Pulsar Plus у режимі Mode 2, які мають потужність до 7,4 кВт, підключення може здійснюватися до мережі низької напруги (220/380 В). Це значно спрощує процес підключення та знижує вартість інсталяції.

Основними факторами для вибору місця розташування зарядних станцій є:

1. Щільність населення та концентрація електромобілів.

Зарядні станції слід розміщувати в районах з високою щільністю населення та потенційно високим попитом на заряджання. Це забезпечить максимальну ефективність використання станцій та зручність для користувачів.

2. Транспортні потоки та інфраструктура.

Місця з інтенсивним рухом транспорту, такі як центральні вулиці, торгові центри, бізнес-парки та громадські установи, є пріоритетними для встановлення зарядних станцій. Це дозволить обслуговувати більшу кількість електромобілів та сприятиме популяризації електротранспорту.

3. Доступність до енергомережі.

Вибір місць з близьким розташуванням до існуючих електричних мереж високої пропускну здатності зменшує витрати на підключення та мінімізує технічні складнощі. Важливо оцінити можливість підключення без необхідності модернізації мережі або будівництва нових ліній.

4. Зручність для користувачів.

Зарядні станції повинні бути розташовані в місцях з легким доступом, наявністю паркувальних місць та безпечних умов експлуатації. Освітлення, наявність навігаційних знаків та інформаційних вказівників сприятимуть комфортному користуванню станціями.

5. Можливість розширення інфраструктури.

Вибір локацій з перспективою подальшого розширення кількості зарядних точок або встановлення більш потужних станцій дозволить адаптуватися до зростаючого попиту в майбутньому.

Станом на 2024 рік, енергомережа Тернополя має достатню пропускну здатність для задоволення поточних потреб споживачів. Однак зростання навантаження через підключення великої кількості зарядних станцій для електромобілів може вимагати детального аналізу та, за необхідності, модернізації окремих ділянок мережі. Більшість електричних мереж міста перебуває в задовільному стані, але є ділянки, які потребують оновлення та реконструкції. Це важливо враховувати при плануванні підключення нових об'єктів, щоб забезпечити надійність та безпеку електропостачання.

Для визначення оптимальних координат розміщення зарядних станцій необхідно провести кількісний аналіз, використовуючи математичні моделі та формули. Розрахунок базується на таких основних даних:

- Населення міста Тернопіль до 2026 року: $N=337\,000$ осіб.
- Прогнозована кількість електромобілів до кінця 2026 року: $E=11\,200$ одиниць.

Для визначення оптимальних місць розміщення можна застосувати метод кластерного аналізу з використанням алгоритму k-середніх (k-means clustering). Цей метод дозволяє розподілити точки попиту на зарядні станції на кластери та визначити центри цих кластерів, які будуть оптимальними місцями для встановлення станцій. Необхідні наступні дані:

- Координати точок попиту: $X=\{x_1, x_2, \dots, x_n\}$, де $x_1, x_2, \dots, x_n$ — географічні координати місць з високою концентрацією електромобілів або потенційних користувачів.
- Вагові коефіцієнти: w_i , які відображають інтенсивність попиту в точці x_i (наприклад, кількість електромобілів у районі).
- Кількість кластерів: $K=S=34$.

Задача полягає в мінімізації зваженої суми квадратів відстаней між точками попиту та центрами кластерів:

$$\arg \min_c \sum_{i=1}^n w_i |x_i - c(x_i)|^2 \quad (1)$$

де:

- $C=\{c_1, c_2, \dots, c_K\}$ — координати центрів кластерів (місць розміщення зарядних станцій).
- $c(x_i)$ — центр кластера, до якого віднесена точка x_i .
- $\|x_i - c(x_i)\|$ — Євклідова відстань між точкою попиту та центром кластера.

Алгоритм включає наступні кроки:

1. Випадково або на основі апріорної інформації вибрати початкові центри кластерів C .

2. Для кожної точки x_i визначити найближчий центр кластера:

$$c(x_i) = \arg \min_{c_k} |x_i - c_k| \quad (2)$$

3. Обчислити нові центри кластерів як зважені середні точок, віднесених до кожного кластера:

$$c_k = \frac{\sum_{x_i \in C_k} w_i x_i}{\sum_{x_i \in C_k} w_i} \quad (3)$$

4. Якщо зміни центрів кластерів незначні, алгоритм зупиняється; інакше повернутися до кроку 2.

5. Отримати дані про розподіл населення, кількість електромобілів у різних районах міста, місця тяжіння (торгові центри, офіси, паркінги). Призначити ваги w_i

відповідно до кількості потенційних користувачів або інтенсивності транспортного потоку в точці x_i .

6. Розрахувати відстані. Використовується Євклідова відстань між двома точками:

$$d(x_i, c_k) = \sqrt{(x_i^{(1)} - c_k^{(1)})^2 + (x_i^{(2)} - c_k^{(2)})^2} \quad (4)$$

7. Якщо обрані місця не відповідають додатковим критеріям, необхідно:

- Перемістити станцію в найближче місце, що задовольняє вимогам.
- Повторити алгоритм з оновленими обмеженнями.

Результати розрахунку за запропонованим алгоритмом з розміщенням розрахованих зарядних станцій представлено на рис. 1.

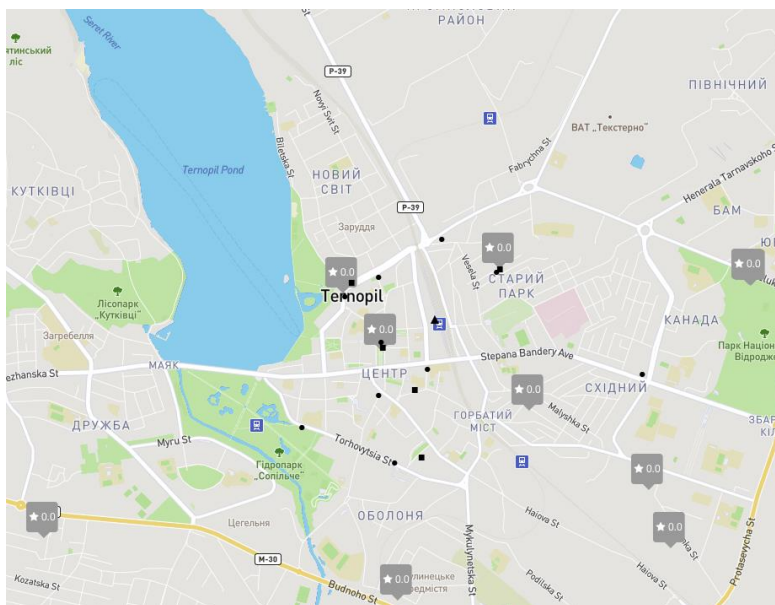


Рисунок 1. Розташування електричних автомобілів ●, споживачів ■ та шуканої зарядної станції ▲

Висновок. Розрахунок оптимальних місць розташування зарядних станцій у місті Тернопіль базується на застосуванні кластерного аналізу з використанням алгоритму k-середніх, врахуванні вагових коефіцієнтів точок попиту та додаткових обмежень. Врахування реальних умов міста, таких як дорожня мережа та доступність електромережі, забезпечує практичність та ефективність отриманих рішень. Цей підхід дозволяє науково обґрунтовано планувати розміщення зарядних станцій, що сприятиме розвитку електромобільності та задоволенню потреб мешканців міста.

Література

1. Aulin, V., Rogovskii, I., Lyashuk, O., Titova, L., Hryniv, A., Mironov, D., Volianskyi, M., Rogatynskiy, R., Solomka, O., Lysenko, S. (2024). Comprehensive assessment of technical condition of vehicles during operation based on Harrington's desirability function. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1 (3 (127)), 37–46.
2. Moreno-gamboa, F.; Escudero-atehortua, A.; Nieto-londoño, C. Alternatives to Improve Performance and Operation of a Hybrid Solar Thermal Power Plant Using Hybrid Closed Brayton Cycle. *Sustainability*. [online], 2022, 14, p. 9479.
3. Singh S. Global electric vehicle market looks to power up in 2018. [online], <https://www.forbes.com/sites/sarwantsingh/2018/04/03/global-electric-vehicle-market-looks-to-fire-on-allmotors-in-2018/#6bf966142927>.
4. Tarnapowicz, D.; German-Galkin, S.; Nerc, A.; Jaskiewicz, M. Improving the Energy Efficiency of a Ship's Power Plant by Using an Autonomous Hybrid System with a PMSG. *Energies* 2023. [online], 2023, 16, p.3158.