

## ОСОБЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ ЗАРЯДНИХ СТАНЦІЙ ЕЛЕКТРОМОБІЛІВ У МІСЬКИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖАХ

**В.Б. Павлов**, докт.техн.наук, **В.О. Новський**, докт.техн.наук, **В.А. Попов**, докт.техн.наук, **С.О. Палачов**, канд.техн.наук  
**Інститут електродинаміки НАН України**,  
 пр. Перемоги, 56, Київ, 03057, Україна, e-mail: [novsky@ied.org.ua](mailto:novsky@ied.org.ua)

*Розглянуто особливості застосування зарядних станцій, що встановлюються в багатоквартирних будинках і громадських будівлях мегаполіса та призначені для заряджання тягових акумуляторних батарей електромобілів і гібридів. Визначено максимальний потенціальний резерв активної потужності електромережі для заряджання електромобілів у різні часи доби для реалізації можливості вирівнювання добового графіка навантаження розподільної електричної мережі за рахунок активного використання зарядних пристроїв і станцій під час мінімальних навантажень побутових та офісних електроспоживачів. Бібл. 3, табл. 1, рис. 4.*

**Ключові слова:** електромобіль, зарядна станція, графік навантаження, розподільна електрична мережа.

**Актуальність.** Нинішній рівень розвитку технологій дає змогу створювати та серійно виробляти широкий спектр електромобілів (ЕМ) і гібридів різного функціонального призначення, що охоплює всі сегменти авторынку. У процесі заряджання їхньої тягової акумуляторної батареї (ТАБ) вона повинна отримати певний обсяг енергії від електричної мережі за досить обмежений час. У залежності від моделі ЕМ та стандарту заряджання потужність, що споживається від мережі зарядним пристроєм, може складати від 3,3 до 50 кВт, тобто більше, ніж договірна потужність звичайного домогосподарства. Але на відміну від побутових електроприймачів у процесі заряджання ЕМ або гібридів можна вводити обмеження споживаної потужності або навіть тимчасове переривання процесу заряджання без істотного негативного впливу на результат заряджання ТАБ. Це дає змогу використовувати зарядні станції ЕМ для вирівнювання добового графіка навантаження розподільної електричної мережі шляхом їхньої активної експлуатації у період мінімальних навантажень. Слід відзначити, що електромобіль за суттю є не тільки активним споживачем електроенергії, а також у перспективі – потенційним елементом її тимчасового зберігання з можливістю подальшого відбору енергії від ТАБ для необхідних потреб у домогосподарстві.

Проте поява зарядних станцій різноманітного виконання та різної потужності, що встановлюються в житлових кварталах і багатоквартирних будинках, може призвести до виникнення ряду проблем, пов'язаних з електромагнітною сумісністю та погіршенням якості напруги електропостачання, перенавантаженням електричних кабелів і розподільних трансформаторів, безпекою експлуатації тощо [3]. Для створення єдиної технічної політики під час вирішення зазначених проблем сьогодні у світі розроблено комплекс стандартів, що регламентують різні аспекти експлуатації зарядних станцій і пристроїв (частку з них гармонізовано в Україні).

**Метою роботи** є аналіз науково-прикладної проблеми, пов'язаної з встановленням зарядних станцій ЕМ у житлових кварталах і багатоквартирних будинках мегаполіса, та визначення максимального потенціального резерву потужності міської електромережі, що живить, наприклад, багатоквартирний будинок або великий торгово-офісний центр у різні періоди доби з урахуванням рівнів споживання енергії при заряджанні середньостатистичного електромобіля, а також максимальну кількість ЕМ, що заряджаються від зазначеної електромережі.

**Виклад основного матеріалу.** Існує велика кількість об'єктів інфраструктури міста, графіки навантаження яких мають суттєво виражений нічний мінімум. Як подібні об'єкти нижче розглядаються типові житлові будинки, а також офісний центр. Було проведено вимірювання електроспоживання ряду типових будівель у буденний день осінньо-зимового сезону, а саме: дев'ятиповерхового житлового будинку з газовими плитами, шістнадцятиповерхового житлового будинку з електроплитами, багатоповерхового житлового будинку підвищеної комфортності з електроплитами і великого офісного центру з паркінгом (дослідження проводилися у детермінованій постановці [2]).

Як приклад, у таблиці наведено усереднені значення даних, що отримано за результатами добових вимірювань електроспоживання навантаженням для найбільш поширеного випадку, а саме дев'ятиповерхового житлового будинку з газовими плитами.

|            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|------------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| $\Delta t$ | 0 <sup>00</sup> -<br>- 1 <sup>00</sup>   | 1 <sup>00</sup> -<br>- 2 <sup>00</sup>   | 2 <sup>00</sup> -<br>- 3 <sup>00</sup>   | 3 <sup>00</sup> -<br>- 4 <sup>00</sup>   | 4 <sup>00</sup> -<br>- 5 <sup>00</sup>   | 5 <sup>00</sup> -<br>- 6 <sup>00</sup>   | 6 <sup>00</sup> -<br>- 7 <sup>00</sup>   | 7 <sup>00</sup> -<br>- 8 <sup>00</sup>   | 8 <sup>00</sup> -<br>- 9 <sup>00</sup>   | 9 <sup>00</sup> -<br>- 10 <sup>00</sup>  | 10 <sup>00</sup> -<br>- 11 <sup>00</sup> | 11 <sup>00</sup> -<br>- 12 <sup>00</sup> |
| $P^*$      | 0,31                                     | 0,24                                     | 0,23                                     | 0,22                                     | 0,25                                     | 0,28                                     | 0,31                                     | 0,38                                     | 0,38                                     | 0,4                                      | 0,23                                     | 0,22                                     |
| $\Delta t$ | 12 <sup>00</sup> -<br>- 13 <sup>00</sup> | 13 <sup>00</sup> -<br>- 14 <sup>00</sup> | 14 <sup>00</sup> -<br>- 15 <sup>00</sup> | 15 <sup>00</sup> -<br>- 16 <sup>00</sup> | 16 <sup>00</sup> -<br>- 17 <sup>00</sup> | 17 <sup>00</sup> -<br>- 18 <sup>00</sup> | 18 <sup>00</sup> -<br>- 19 <sup>00</sup> | 19 <sup>00</sup> -<br>- 20 <sup>00</sup> | 20 <sup>00</sup> -<br>- 21 <sup>00</sup> | 21 <sup>00</sup> -<br>- 22 <sup>00</sup> | 22 <sup>00</sup> -<br>- 23 <sup>00</sup> | 23 <sup>00</sup> -<br>- 0 <sup>00</sup>  |
| $P^*$      | 0,25                                     | 0,25                                     | 0,26                                     | 0,27                                     | 0,25                                     | 0,28                                     | 0,52                                     | 0,83                                     | 1,0                                      | 0,9                                      | 0,71                                     | 0,39                                     |

Статистичне оброблення цих даних дозволило відобразити типовий характер зміни у часі  $P^*$  – відношення сумарної активної потужності навантаження електричної мережі відповідного будинку до добового максимуму його споживання. Для житлових будинків зазначений максимум спостерігається близько 21<sup>00</sup>, а в офісному центрі – близько 15<sup>00</sup>. Зазначені дані у відносних одиницях у подальшому будуть використані для отримання оціночних розрахунків графіків навантаження і відповідно максимального потенційного резерву потужності (ПРП) в одиницях потужності для конкретних будівель, які належать до зазначених вище типів.

Для цього на основі діючих державних будівельних норм (ДБН) необхідно отримати розрахункове значення добового максимуму споживання  $P_{max}$  (яке відповідає значенню 1,0 у відносних одиницях) наступним чином [1]:

**1. Для житлових будинків**

$P_{max} = N_{кв} p_{пит.кв.} + 0,9 K_{п} n_{л} p_{л}$ , де  $N_{кв}$  – кількість квартир;  $p_{пит.кв.}$  – питома потужність однієї квартири;  $K_{п}$  – коефіцієнт «попиту»;  $n_{л}$  – кількість ліфтів;  $p_{л}$  – середня потужність ліфта.

**2. Для офісного центру**

$P_{max} = M \cdot p_{пит.соб.}$ , де  $M$  – загальна площа приміщень;  $p_{пит.соб.}$  – питома потужність електрообладнання на 1 м<sup>2</sup>.

З урахуванням цих виразів розраховано значення сумарної потужності навантажень відповідно для дев'ятиповерхового шестисекційного житлового будинку з газовими плитами на 210 квартир; 16-ти поверхового двосекційного житлового будинку з електроплитами (з 2 ліфтами на секцію) на 126 квартир; 24-поверхового двосекційного житлового будинку підвищеної комфортності з електроплитами (з двома ліфтами на секцію) на 112 квартир, а також великого офісного центру із загальною площею приміщень 10 000 м<sup>2</sup>:

$$P_{max1} = 210 \times 0,86 + 0,9 \times 0,65 \times 6 \times 7 = 205,2 \text{ кВт}, \quad P_{max2} = 126 \times 1,96 + 0,9 \times 0,65 \times 2 \times (7 + 9) = 267,2 \text{ кВт},$$

$$P_{max3} = 112 \times 2,48 + 0,9 \times 0,7 \times 2 \times (7 + 9) = 298 \text{ кВт}, \quad P_{max4} = 10000 \times 0,1 = 1000 \text{ кВт}.$$

На рис. 1 – рис. 4 показано приклади розрахованих добових графіків сумарної потужності навантажень для зазначених будівель.

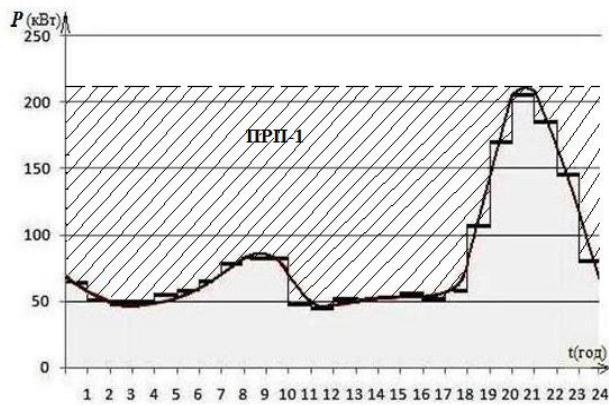


Рис. 1

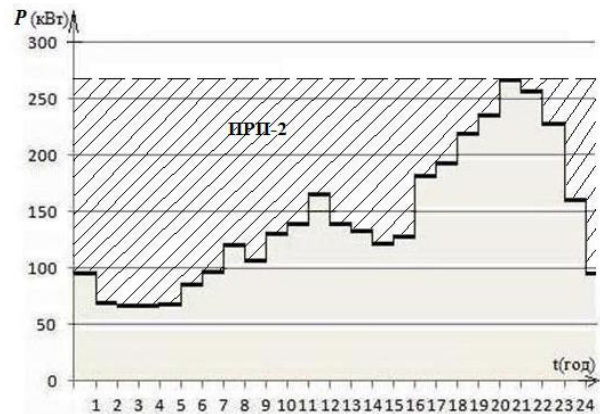


Рис. 2

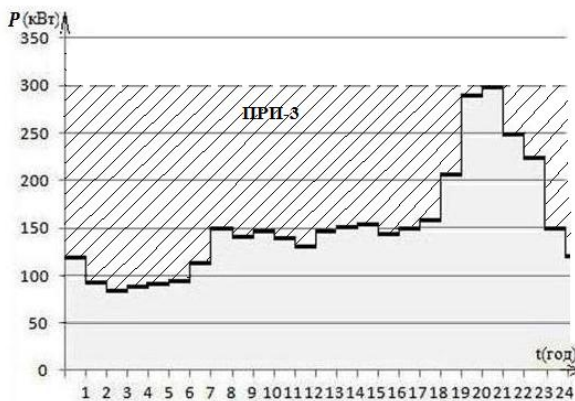


Рис. 3

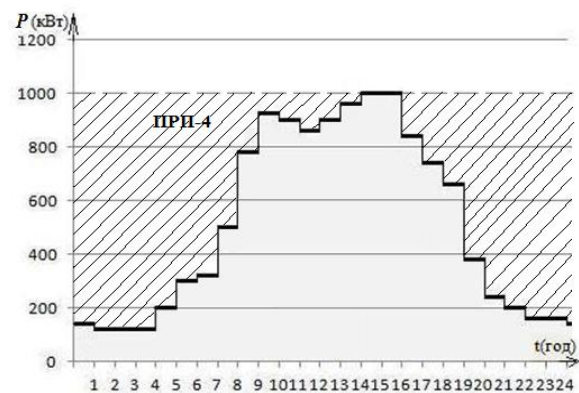


Рис. 4

Аналізуючи графіки електроспоживання, можна кількісно оцінити максимальний потенційний резерв потужності за певний проміжок часу для електричних мереж розглянутих об'єктів (заштриховані області ПРП-1...ПРП-4). На основі аналізу величини і характеру зміни у часі ПРП з'являється можливість визначити  $n$  – максимальну кіль-

кість ЕМ, що можуть одночасно заряджатися достатньо тривалий час від електричної мережі об'єкта без її перевантаження в режимі здійснення саме «повільної» зарядки». Очевидно, що процес заряджання ЕМ можна прискорити за допомогою потужних зарядних станцій, але таке «швидке» заряджання вимагатиме дуже значних витрат електроенергії, що призведе до катастрофічного навантаження на міські електромережі.

З урахуванням ККД системи «мережа - зарядний пристрій - акумулятор» (який складає 0,8–0,85) споживана потужність зарядної станції під час заряджання одного ЕМ у шестигодинному режимі заряджання буде близько 4 кВт, у восьмигодинному – 3 кВт, а в 10-ти годинному – 2,4 кВт.

При проведенні подальших розрахунків допустимої кількості електромобілів, які можуть заряджатися одночасно від електромережі цих об'єктів, та визначення оптимальних інтервалів часу для проведення їхнього заряджання приймалися такі припущення:

- заплановане сумарне навантаження електричної мережі розглянутої будівлі (з урахуванням потужностей зарядних пристроїв ЕМ) не повинне перевищувати розрахованого вечірнього (для житлових будинків) або денного (для офісного центру) максимумів споживання електричної потужності, відповідно до яких здійснювався вибір параметрів елементів інфраструктури електричної мережі зазначених об'єктів;

- розглядалися три можливих режими зарядки батареї ЕМ – шестигодинна, восьмигодинна і 10-ти годинна (цифра відображає час повного заряджання батареї ЕМ у відповідному режимі);

- енергоємність однієї акумуляторної батареї типового ЕМ складає у середньому 20 кВт·год.

Таким чином, на основі використання розрахованих добових графіків сумарної потужності навантажень зазначених будівель маємо наступні результати:

#### 1. Житловий будинок з газовими плитами

*шестигодинний режим заряджання* (з 1<sup>00</sup> до 7<sup>00</sup>)

$$n = (205,2 - 63,6) / 4 \approx 35;$$

*восьмигодинний режим заряджання* (з 0 до 8<sup>00</sup>)

$$n = (205,2 - 78,0) / 3 \approx 42;$$

*10 - годинний режим заряджання* (з 0 до 10<sup>00</sup>)

$$n = (205,2 - 78,0) / 2,4 \approx 53.$$

#### 3. Житловий будинок підвищеної комфортності

*шестигодинний режим заряджання* (з 0 до 6<sup>00</sup>)

$$n = (298,1 - 119,2) / 4 \approx 44;$$

*восьмигодинний режим заряджання* (з 0 до 8<sup>00</sup>)

$$n = (298,1 - 149,0) / 3 \approx 49;$$

*10 - годинний режим заряджання* (з 0 до 10<sup>00</sup>)

$$n = (298,1 - 149,0) / 2,4 \approx 62.$$

#### 2. Житловий будинок з електричними плитами

*шестигодинний режим заряджання* (з 0 до 6<sup>00</sup>)

$$n = (267,2 - 96,2) / 4 \approx 42;$$

*восьмигодинний режим заряджання* (з 0 до 8<sup>00</sup>)

$$n = (267,2 - 120,2) / 3 \approx 49;$$

*10 - годинний режим заряджання* (з 0 до 10<sup>00</sup>)

$$n = (267,2 - 130,9) / 2,4 \approx 56.$$

#### 4. Офісний центр

*шестигодинний режим заряджання* (з 23<sup>00</sup> до 5<sup>00</sup>)

$$n = (1000,0 - 160,0) / 4 \approx 210;$$

*восьмигодинний режим заряджання* (з 22<sup>00</sup> до 6<sup>00</sup>)

$$n = (1000,0 - 200,0) / 3 \approx 266;$$

*10 - годинний режим заряджання* (з 21<sup>00</sup> до 7<sup>00</sup>)

$$n = (1000,0 - 300,0) / 2,4 \approx 291.$$

Отже, результати розрахунків кількості ЕМ, що одночасно можуть заряджатися від електричних мереж житлових і офісних будинків у періоди добового провалу енергоспоживання (наприклад, у нічні години доби), показав можливість ефективного використання значного резерву потужності зазначених мереж. Його обсягу цілком достатньо для заряджання великої кількості ЕМ і гібридних автомобілів.

При цьому слід зазначити, що підвищення енергонасиченості квартир сучасних житлових будинків (наявність «тепліх» підлог і досить потужних кондиціонерів, бойлерів та побутової техніки), а також широке поширення зонних багатотарифних електролічильників може спричинити необхідність певної корекції наведених у роботі добових графіків споживання, а також державних будівельних норм щодо питомих розрахункових електричних навантажень житлових і громадсько-комунальних будівель.

Аналіз можливості здійснення «швидкого» заряджання ЕМ, як вже зазначалося, потребує значного збільшення струмів заряджання ТАБ і, як наслідок, обумовить різке зростання споживаного струму від електромережі, який живить багатоквартирні будинки і офісні центри, та вимагає окремого дослідження щодо впливу роботи потужних зарядних станцій ЕМ на можливі змінення мережевої інфраструктури в міських системах електропостачання. Крім того, одночасно з цим застосування станцій заряджання ЕМ і гібридних автомобілів дає змогу підвищити ефективність використання електромереж, зокрема з відновлюваними джерелами енергії (ВДЕ), за рахунок згладжування коливань графіка споживаної потужності мережі. У перспективі це сприятиме реалізації технології «*Vehicle-to-Grid*» («*V2G*») або «автомобіль-у-мережу»), яка дасть змогу використовувати ТАБ електромобілів і гібридів як розподілену систему накопичення електроенергії. При масовому користуванні електромобільним транспортом це дасть змогу істотно підвищити ефективність електромереж, короткочасно використовуючи накопичену в ТАБ енергію для згладжування піків графіків навантаження, а також як «буфер для забезпечення стабільної роботи електромереж, зокрема, з великим об'ємом генерації від ВДЕ.

## Висновки.

1. Згідно з існуючими будівельними нормами елементи інфраструктури електричних мереж (силові кабелі, блоки комутації, розподільчі трансформатори) житлових і офісних будівель розраховуються на основі статистичного аналізу даних щодо сумарного максимального навантаження електроприймачів типової будівлі. Аналіз результатів вимірювання добових графіків енергоспоживання зазначених будівель показав, що протягом значної частини доби ці елементи інфраструктури функціонують у режимі низького рівня навантаження, що створює можливість підключення в обмежений проміжок часу доби додаткового електричного обладнання навіть великої потужності без суттєвого впливу на функціонування електромережі.

2. Визначено, що підключення станції заряджання тягових акумуляторів ЕМ у нічний час доби є ефективним засобом вирівнювання добового графіка навантаження електричних мереж житлових і офісних будівель, причому станції заряджання ТАБ, на відміну від обладнання, яке потребує певного гарантованого значення резервованої потужності, можуть нормально працювати в різних режимах заряджання, що забезпечує широкий діапазон рівнів споживаної потужності. Це дає можливість узгоджувати їх з поточним рівнем навантаження основних споживачів будівлі. Якщо сумарна потужність зарядних пристроїв/станцій порівнянна з договірною потужністю кількох типових споживачів, їхнє підключення до електромережі будівлі не потребує суттєвих змін її інфраструктури.

3. На основі результатів аналізу максимального потенційного резерву потужності електричних мереж багатоквартирних будинків різного типу та офісних будівель визначено допустиму (з точки зору підвищення ефективності використання існуючої інфраструктури) кількість ЕМ, які можуть заряджатися одночасно, та оптимальні інтервали часу для проведення їхнього заряджання.

1. Державні будівельні норми України. Інженерне обладнання будинків і споруд. Проектування електрообладнання об'єктів цивільного призначення. ДБН В.2.5-23:2010. К.: Мінрегіонбуд України, 2010, 167 с.

2. Тульчин І.К., Нудлер Г.И. Электрические сети и электрооборудование жилых и общественных зданий. М.: Энергоатомиздат, 1990. 480 с.

3. Шидловський А.К., Жаркін А.Ф., Павлов В.Б., Новський В.О. Розвиток зарядної інфраструктури електромобілів і гібридного транспорту та її вплив на режими електричних мереж. *Технічна електродинаміка*. 2018. № 3. С. 74-81.

УДК 621.314.1:621.316.1

## ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЕ ЗАРЯДНЫХ СТАНЦИЙ ЭЛЕКТРОМОБИЛЕЙ В ГОРОДСКИХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ

**В.Б. Павлов**, докт.техн.наук, **В.А. Новский**, докт.техн.наук, **В.А. Попов**, докт.техн.наук, **С.А. Палачов**, канд.техн.наук  
Институт электродинамики НАН Украины,  
пр. Победы, 56, Киев, 03057, Украина, e-mail: [novsky@ied.org.ua](mailto:novsky@ied.org.ua)

*Рассмотрены особенности применения зарядных станций, которые устанавливаются в многоквартирных домах и общественных сооружениях мегаполиса и предназначены для зарядки тяговых аккумуляторных батарей электромобилей и гибридов. Определен потенциальный резерв активной мощности электросети для зарядки электромобилей в разное время суток для реализации возможности выравнивания суточного графика нагрузки распределительной электрической сети за счет активного использования зарядных станций во время минимальных нагрузок бытовых и офисных потребителей электроэнергии. Библи. 3, табл. 1, рис. 4.*

**Ключевые слова:** электромобиль, зарядная станция, график нагрузки, распределительная электрическая сеть.

## FEATURES OF USE OF ELECTRICAL VEHICLE CHARGER STATION IN URBAN ELECTRICAL NETWORKS

**V.B. Pavlov**, **V.O. Novskiy**, **V.A. Popov**, **S.O. Palachov**

Institute of electrodynamics National Academy of Sciences of Ukraine,  
pr. Peremohy, 56, Kyiv, 03057, Ukraine, e-mail: [novsky@ied.org.ua](mailto:novsky@ied.org.ua)

*The application features of charging stations that are installed in multi-apartment buildings and public institutions of the megapolis and are intended for charging traction batteries of electric vehicles and hybrids are considered. The potential reserve of the active power of the electric grid for charging an electric vehicle at different times of the day is determined as well as the possibility of equalizing the daily schedule of the load of the distribution network by active use of chargers during minimal loads of household and office electric consumers. References 3, table 1, figures 4.*

**Key words:** electric vehicle, charging station, load graph, distribution electric network.

1. State building regulations of Ukraine. Engineering equipment of buildings and structures. Designing electrical equipment for civilian objects. DBN V.2.5-23. Kyiv: Minrehionbud Ukrainy. 2010. 167 p. (Ukr)

2. Tulchin I.K., Nudler G.I. Electrical networks and electrical equipment of residential and public building. Moskva: Energoatomizdat, 1990. 480 p. (Rus)

3. Shydlovskiy A.K., Zharkin A.F., Pavlov V.B., Novskiy V.O. Influence of development of the charging infrastructure for electric vehicles and hybrid transport on modes of electric networks. *Tekhnichna Elektrodynamika*. 2018. No 3. Pp. 74-81. (Ukr)

Надійшла 05.03.2018

Остаточний варіант 14.05.2018