

Міністерство освіти і науки України

Луцький національний технічний університет

(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет транспорту та інженерії

(повне найменування факультету)

Кафедра автомобільного транспорту

(повна найменування кафедри)

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
ЗА СТУПЕНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ «БАКАЛАВР»**

**ПРОЄКТ ЗАРЯДНОГО ХАБУ НА СТО ДЛЯ
ЕЛЕКТРОМОБІЛІВ**

спеціальність 274 Автомобільний транспорт
(шифр і назва спеціальності)

освітня програма «Автомобільний транспорт»
(назва освітньої програми)

Виконав: здобувач вищої освіти
групи АТ-42
Юрій ТАТУШКО

(підпис)

Керівник:
к.т.н., доцент
Валерій ДЕМБІЦЬКИЙ

(підпис)

Кваліфікаційну роботу
допущено до захисту
«__» _____ 2026 р.
к.т.н., доцент,
гарант освітньої програми:
Олег ЗАХАРЧУК

(підпис)

Луцьк – 2026 року

ЛУЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет транспорту та механічної інженерії
Кафедра автомобілів і транспортних технологій
Ступінь вищої освіти: бакалавр
Галузь знань: 27 Транспорт
Спеціальність: 274 Автомобільний транспорт
Освітня програма: «Автомобільний транспорт»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ В. ОНИЩУК

«___» _____ 2026 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧУ ВИЩОЇ ОСВІТИ

Юрію ТАТУШКУ

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема кваліфікаційної роботи: *«Проект зарядного хабу на СТО для електромобілів»*

Керівник роботи: к.т.н., доцент Валерій ДЕМБІЦЬКИЙ

затверджені наказом вищого навчального закладу від «31» грудня 2025 р. № 562/01-02

2. Строк подання здобувачем вищої освіти кваліфікаційної роботи «01» червня 2026 р.

3. Вихідні дані до роботи: *характеристики зарядних станцій, технічні параметри зарядного обладнання, інфраструктура СТО, потреби споживачів.*

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, що потрібно розробити):

1 Теоретичні аспекти організації зарядної інфраструктури

2 Формування вихідних даних для розроблення зарядного хабу

3 Розроблення зарядного хабу

4 Оцінка ефективності запропонованих рішень

5. Перелік графічного матеріалу:

Титульний аркуш, мета, об'єкт, предмет, завдання досліджень; основні результати досліджень, висновки

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис	
		завдання видав	завдання прийняв
<i>Економічна частина</i>	<i>І. ПАВЛОВА, к.т.н., доцент каф. АТТ</i>		
<i>Технологічна частина</i>	<i>В. ПРИДЮК, к.т.н., доцент каф. АТТ</i>		

7. Дата видачі завдання «03» лютого 2026 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи бакалавра	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	<i>Аналіз, вибір та обґрунтування вихідних даних</i>	<i>20.04.2026</i>	
2	<i>Теоретичні аспекти організації зарядної інфраструктури</i>	<i>02.05.2026</i>	
3	<i>Формування вихідних даних для розроблення зарядного хабу</i>	<i>09.05.2026</i>	
4	<i>Розроблення зарядного хабу</i>	<i>16.05.2026</i>	
5	<i>Оцінка ефективності запропонованих рішень</i>	<i>23.05.2026</i>	
6	<i>Перевірка кваліфікаційної роботи керівником</i>	<i>28.05.2026</i>	
7	<i>Оформлення пояснювальної записки та ілюстративної частини відповідно діючих вимог</i>	<i>30.05.2026</i>	
8	<i>Перевірка роботи на плагіат</i>	<i>за два тижні до захисту</i>	
9	<i>Захист кваліфікаційної роботи</i>	<i>згідно графіка захистів</i>	
10			

Здобувач вищої освіти

(підпис)

Ю. ТАТУШКО
(ініціали, прізвище)

Керівник кваліфікаційної роботи

(підпис)

В. ДЕМБІЦЬКИЙ
(ініціали, прізвище)

АНОТАЦІЯ

Татушко Ю.Ю. Проєкт зарядного хабу на СТО для електромобілів.
Рукопис.

Кваліфікаційна робота бакалавра освітньої програми «Автомобільний транспорт» спеціальності 274 Автомобільний транспорт. Луцький національний технічний університет. Луцьк, 2026.

Кваліфікаційна робота бакалавра складається з вступу, чотирьох розділів, висновків, переліку джерел посилання. Обсяг кваліфікаційної роботи становить 66 сторінок основного тексту, 16 таблиць, 4 рисунка та 38 джерел за переліком посилань.

У кваліфікаційній роботі бакалавра розглянуто питання розроблення зарядного хабу при станції технічного обслуговування автомобілів як перспективного напрямку розвитку сервісної інфраструктури в умовах зростання кількості електромобілів. Актуальність теми зумовлена необхідністю формування доступної, технічно обґрунтованої та зручної зарядної інфраструктури, яка може бути інтегрована в діяльність підприємств автомобільного сервісу. У роботі проаналізовано сучасний стан і тенденції розвитку електромобільності, роль зарядного хабу в структурі послуг СТО, класифікацію зарядних станцій, режими заряджання електромобілів та основні технічні параметри зарядного обладнання.

У практичній частині роботи сформовано вихідні дані для проєктування зарядного хабу при СТО, виконано аналіз потенційного попиту на послуги заряджання, розглянуто інженерну інфраструктуру підприємства та запропоновано розрахункові сценарії роботи хабу для СТО різної потужності. Обґрунтовано вибір конфігурації зарядного хабу, визначено типи зарядних станцій, кількість портів, встановлену та розрахункову потужність, а також режими роботи з урахуванням добових коливань навантаження.

Ключові слова: електромобіль, зарядна інфраструктура, зарядний хаб, станція технічного обслуговування, зарядна станція, зарядний порт, режими

заряджання, встановлена потужність, розрахункова потужність, електромобільність, інженерна інфраструктура СТО, енергоефективність.

ANNOTATION

Tatushko Yu.Yu. Project of a charging hub at a service station for electric vehicles. Manuscript.

Bachelor's qualification work of the educational program "Automobile Transport" specialty 274 Automobile Transport. Lutsk National Technical University. Lutsk, 2026.

The bachelor's qualification work consists of an introduction, four sections, conclusions, a list of references. The volume of the qualification work is 66 pages of the main text, 16 tables, 4 figures and 38 sources according to the list of references.

The bachelor's qualification work considers the issue of developing a charging hub at a car service station as a promising direction for the development of service infrastructure in the conditions of an increase in the number of electric vehicles. The relevance of the topic is due to the need to form an accessible, technically sound and convenient charging infrastructure that can be integrated into the activities of automobile service enterprises. The paper analyzes the current state and trends in the development of electromobility, the role of the charging hub in the structure of service stations, the classification of charging stations, charging modes of electric vehicles and the main technical parameters of charging equipment.

In the practical part of the paper, the initial data for the design of a charging hub at a service station were formed, the potential demand for charging services was analyzed, the engineering infrastructure of the enterprise was considered and calculated scenarios of the hub's operation for service stations of different capacities were proposed. The choice of the charging hub configuration was justified, the types of charging stations, the number of ports, the installed and calculated capacity, as well as the operating modes taking into account daily load fluctuations were determined.

Keywords: electric vehicle, charging infrastructure, charging hub, service station, charging station, charging port, charging modes, installed capacity, calculated capacity, electromobility, engineering infrastructure of service stations, energy efficiency.

ЗМІСТ

Вступ	9
1 Теоретичні основи організації зарядної інфраструктури при СТО	13
1.1 Стан і тенденції розвитку електромобільності та зарядної інфраструктури.....	13
1.2 Роль зарядного хабу в структурі послуг сучасної станції технічного обслуговування.....	15
1.3 Класифікація зарядних станцій та режими заряджання електромобілів.....	18
1.4 . Основні технічні параметри зарядного обладнання.....	20
1.5 Фактори, що впливають на вибір типів зарядних станцій для СТО..	23
Висновки до розділу	25
2 Вихідні дані для розроблення зарядного хабу при СТО.....	27
2.1 Загальна характеристика СТО як об'єкта дослідження.....	27
2.2 Аналіз потенційного попиту на послуги заряджання автомобіля. ...	29
2.3 Аналіз інженерної інфраструктури СТО.....	31
2.4 Формування розрахункових сценаріїв роботи зарядного хабу.....	33
2.5 Критерії вибору конфігурації зарядного хабу.....	36
Висновки до розділу.....	38
3 Розроблення зарядного хабу при СТО	40
3.1 Обґрунтування складу зарядного хабу.....	40
3.2 Розрахунок електричної потужності зарядного хабу.....	42
3.3 Вибір співвідношення повільних, прискорених і швидких зарядних станцій.....	45
3.4 Розрахунок добових режимів роботи зарядного хабу та побудова графіків навантаження.....	48
Висновки до розділу.....	51

4 Оцінка ефективності проєктних рішень зарядного хабу	53
4.1 Методика оцінювання ефективності проєкту зарядного хабу.	53
4.2 Оцінка пропускну́ї здатності зарядного хабу та рівня обслуговування клієнтів.	55
4.3 Розрахунок техніко-експлуатаційних показників роботи хабу.	58
4.4 Економічне обґрунтування доцільності впровадження зарядного хабу при СТО.	60
Висновки до розділу.	63
Висновки	65
Перелік джерел посилання	67

ВСТУП

На сучасному етапі розвитку транспортної галузі спостерігається стале зростання ролі електромобільності як одного з ключових напрямів декарбонізації транспорту, підвищення енергоефективності та зменшення залежності від традиційних видів моторного палива. За даними ІЕА, у 2024 році світові продажі електромобілів перевищили 17 млн одиниць, що більш ніж на 25 % більше порівняно з попереднім роком. Одночасно упродовж 2024 року у світі було введено понад 1,3 млн нових публічних зарядних точок, а загальна кількість публічних зарядних станцій за останні два роки фактично подвоїлася. Це свідчить про швидке розширення ринку електричного транспорту та об’єктивну необхідність розвитку доступної, технічно обґрунтованої й масштабованої зарядної інфраструктури.

Актуальність розвитку зарядної інфраструктури підтверджується також сучасною європейською політикою у сфері транспорту. Регламент ЄС 2023/1804 щодо розгортання інфраструктури альтернативних видів палива, який застосовується з 13 квітня 2024 року, визначає необхідність забезпечення мінімально достатньої, сумісної та зручної для користувача мережі заряджання. Зокрема, у нормативних вимогах акцентовано увагу на доступності зарядних потужностей, інтероперабельності обладнання, прозорості інформації для користувачів та зручності електронної оплати. Отже, проектування зарядних об’єктів сьогодні має здійснюватися не лише з позицій локальної потреби, а й з урахуванням сучасних технічних, організаційних та регуляторних вимог.

					КРБ 53.00.00.00.00 ПЗ				
Зм.	Арк.	№ док.им.	Підпис	Дата	Проект зарядного хабу на СТО для електромобілів	Літера	Аркш	Аркшів	
Розробив	Татишко					Д	9	71	
Перевірив	Дембійський					ЛНТУ, кафедра АТ, гр. АТ-42			
Н. контр.	Булук								
Затверд.	Захарчук О.								

Додатковим підтвердженням актуальності теми є зростання частки електромобілів на європейському ринку. За даними АСЕА, у 2025 році частка нових акумуляторних електромобілів у структурі реєстрацій легкових автомобілів у ЄС досягла 17,4 %, а в січні 2026 року становила вже 19,3 %. Така динаміка означає подальше збільшення кількості транспортних засобів, власники яких потребують регулярного, технічно надійного та територіально зручного заряджання. У цих умовах станції технічного обслуговування автомобілів можуть розглядатися не лише як об'єкти сервісної підтримки транспортних засобів, а і як перспективні точки інтеграції зарядної інфраструктури в міське та приміське середовище.

Особливої актуальності набуває створення зарядного хабу саме при СТО, оскільки таке рішення дає змогу поєднати послуги технічного обслуговування, діагностування та заряджання електромобілів в одному функціональному просторі. Це підвищує зручність для клієнтів, сприяє раціональному використанню часу перебування автомобіля на СТО, дозволяє ефективніше використовувати наявну територію та інженерну інфраструктуру підприємства, а також формує додатковий напрям господарської діяльності. Водночас практична реалізація такого проєкту потребує обґрунтованого вибору типів зарядних станцій, визначення раціонального співвідношення між повільними, прискореними та швидкими зарядними пристроями, розрахунку встановленої та розрахункової потужності, а також формування режимів роботи хабу з урахуванням добових коливань навантаження. Ці питання залишаються важливими для прикладного інженерного опрацювання на рівні конкретного підприємства.

Мета кваліфікаційної роботи – обґрунтування доцільності створення зарядного хабу при станції технічного обслуговування автомобілів шляхом вибору раціональних типів зарядних станцій, розрахунку їх потужності та формування режимів роботи з урахуванням попиту на послуги заряджання, можливостей інженерної інфраструктури СТО та сучасних вимог до зарядної інфраструктури електромобілів.

Об'єкт дослідження – процес організації зарядної інфраструктури для електромобілів при станції технічного обслуговування автомобілів як елементу сучасної системи автомобільного сервісу.

Предмет дослідження – параметри створення зарядного хабу при станції технічного обслуговування автомобілів в умовах невизначеності зовнішніх впливів.

Завдання дослідження:

- проаналізувати сучасний стан і тенденції розвитку електромобільності та зарядної інфраструктури;
- визначити роль зарядного хабу в структурі послуг сучасної станції технічного обслуговування автомобілів;
- розглянути класифікацію зарядних станцій та режими заряджання електромобілів;
- проаналізувати потенційний попит на послуги заряджання електромобілів при СТО та особливості інженерної інфраструктури підприємства;
- сформулювати сценарії роботи зарядного хабу для СТО;
- обґрунтувати вибір конфігурації зарядного хабу;
- оцінити практичну доцільність запропонованих рішень.

Практична цінність роботи полягає в тому, що її результати можуть бути використані станціями технічного обслуговування автомобілів для обґрунтованого впровадження зарядного хабу як нового напрямку сервісної діяльності. Запропоновані підходи дають змогу визначити доцільну конфігурацію зарядної інфраструктури, вибрати типи зарядних станцій, розрахувати встановлену та розрахункову потужність, оцінити потребу в зарядних портах і сформулювати режими роботи хабу з урахуванням попиту клієнтів, обмежень електропостачання та можливостей інтеграції заряджання з послугами СТО. Це сприяє підвищенню зручності для власників електромобілів, розширенню спектра послуг підприємства та раціональному використанню його інженерної інфраструктури.

Під час виконання роботи було використано інструменти штучного інтелекту для форматування тексту, систематизації матеріалів та створення таблиць, виключно як допоміжний засіб для пошуку інформації, уточнення формулювань та опрацювання літератури. Усі твердження, висновки та результати дослідження належать автору та ґрунтуються на власному аналізі.

1 ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ОРГАНІЗАЦІЇ ЗАРЯДНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ ПРИ СТО

1.1 Стан і тенденції розвитку електромобільності та зарядної інфраструктури

Електромобільність упродовж останніх років перетворилася на один із провідних напрямів розвитку транспортної системи, що пов'язано з декарбонізацією економіки, підвищенням енергоефективності перевезень та зниженням залежності від традиційних нафтопродуктів. Сучасний етап розвитку автомобільного транспорту характеризується стійким зростанням частки електричних транспортних засобів у структурі світового автопарку, активізацією державної підтримки ринку та швидким розширенням зарядної інфраструктури [1]. За оцінками Міжнародного енергетичного агентства, у 2024 р. світові продажі електромобілів перевищили 17 млн одиниць, а темпи розширення мережі заряджання залишаються одними з ключових чинників подальшого поширення електротранспорту .

Важливою тенденцією є перехід від локального встановлення окремих зарядних пристроїв до формування комплексної зарядної інфраструктури, орієнтованої на різні сценарії використання транспортних засобів: повсякденну експлуатацію, міжміські поїздки, корпоративні парки, комерційні перевезення та обслуговування клієнтів сервісних підприємств [2]. У структурі сучасного ринку паралельно розвиваються повільні зарядні станції змінного струму, прискорені станції середньої потужності та швидкі станції постійного струму. Такий підхід дає змогу адаптувати процес заряджання до тривалості стоянки автомобіля, характеристик акумуляторної батареї та умов експлуатації об'єкта [3; 4]. У 2024 р. у світі було введено понад 1,3 млн нових публічних зарядних точок, що свідчить про збереження високої інвестиційної активності у сфері зарядної інфраструктури .

Для європейського ринку характерним є поєднання технологічного розвитку з жорсткішим нормативним регулюванням. Регламент ЄС 2023/1804

щодо розгортання інфраструктури альтернативних видів палива формує вимоги до щільності розміщення зарядних станцій, їх доступності, сумісності та зручності користування [5]. Це означає, що сучасна зарядна інфраструктура розглядається не лише як сукупність технічних пристроїв, а як елемент транспортної, енергетичної та цифрової інфраструктури, інтегрований у єдину систему мобільності. Одночасно зростає частка акумуляторних електромобілів у структурі європейського ринку нових легкових автомобілів: у 2025 р. вона становила 17,4 %, а в січні 2026 р. зросла до 19,3 % [6; 7].

В Україні розвиток електромобільності також демонструє позитивну динаміку, хоча відбувається в умовах суттєвих інфраструктурних та економічних обмежень. Вітчизняні дослідження підкреслюють, що ключовими бар'єрами залишаються нерівномірність територіального розміщення зарядних станцій, обмеження енергетичної інфраструктури, недостатня кількість швидкісних зарядних пунктів та потреба в техніко-економічному обґрунтуванні нових рішень [2; 3]. Водночас у 2025 р. український ринок електромобілів продемонстрував суттєве зростання: за підсумками року парк було поповнено десятками тисяч електричних легкових автомобілів, що свідчить про формування стійкого попиту на послуги заряджання [8].

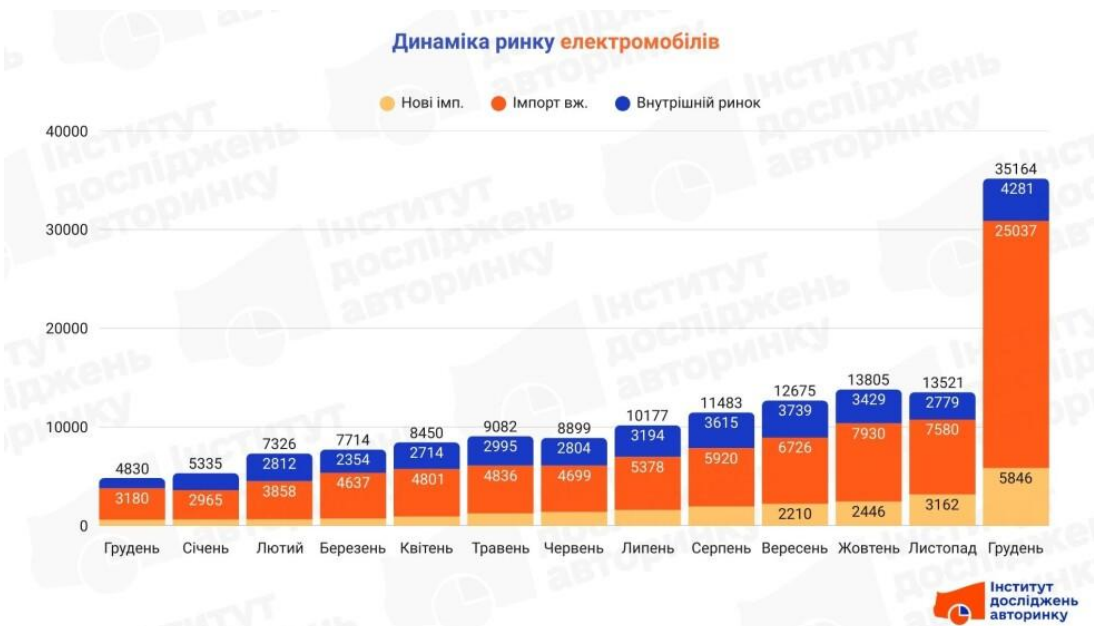


Рисунок 1.1 – Динаміка ринку електромобілів в Україні 2025 р. [8]

У цих умовах особливого значення набуває розвиток зарядної інфраструктури при станціях технічного обслуговування автомобілів. Поєднання функцій технічного сервісу та заряджання створює передумови для підвищення ефективності використання площі, розширення спектра послуг, збільшення тривалості взаємодії з клієнтом та формування нових джерел доходу підприємства. Крім того, саме СТО є об'єктами, на яких можливе комплексне вирішення питань підключення до електричних мереж, організації режимів роботи обладнання, балансування навантаження та технічного супроводу зарядного хабу. Тому подальший розвиток електромобільності закономірно потребує переходу від загального розширення мережі зарядних станцій до обґрунтованого проєктування зарядних хабів з урахуванням попиту, потужності, режимів роботи та особливостей конкретного підприємства [1; 4]. Це узгоджується і з міжнародними тенденціями розвитку зарядної інфраструктури, і з актуальними потребами українського ринку

1.2 Роль зарядного хабу в структурі послуг сучасної станції технічного обслуговування

Інтенсивне зростання парку електромобілів і розширення публічної мережі заряджання зміщують фокус конкуренції з «наявності зарядної точки» до якості сервісу заряджання (доступність, швидкість, зручність, прогнозованість) та інтеграції зарядки в повсякденні сценарії користувача [1; 5]. У такому контексті станція технічного обслуговування (СТО) є природною локацією для формування зарядного хабу, оскільки поєднує сервісні процеси, інженерну інфраструктуру та клієнтський потік.

Роль зарядного хабу в структурі послуг сучасної станції технічного обслуговування (див. також рис. 1):

1) Розширення продуктового портфеля СТО та формування нових джерел доходу. Зарядний хаб перетворює СТО з виключно ремонтно-сервісного підприємства на багатофункціональний вузол енергосервісу, де

монетизуються: продаж електроенергії/послуг заряджання; супутні послуги (мийка, діагностування, шиномонтаж, дрібний ремонт, сервісні пакети); партнерські моделі (оператор зарядної мережі, оренда місця, розподіл доходів) [9; 10]. Для СТО особливо цінною є можливість диверсифікації виручки та зниження сезонності доходів від традиційних робіт.

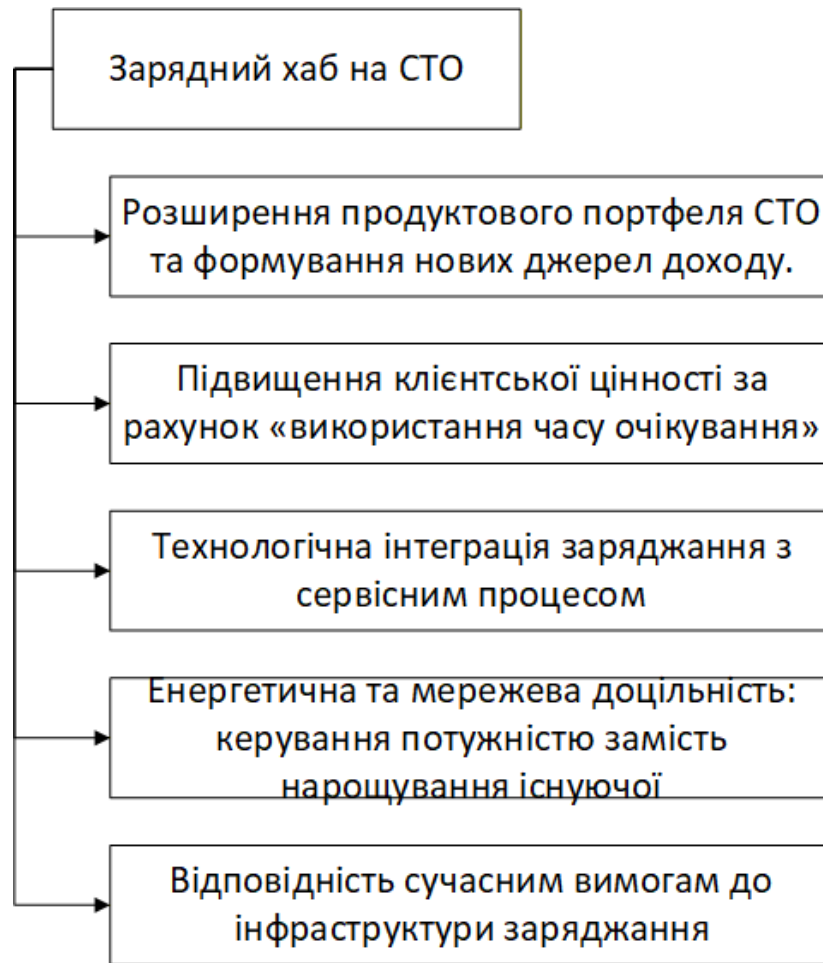


Рисунок 1.2 – Роль зарядного хабу при СТО

2) Підвищення клієнтської цінності за рахунок «використання часу очікування». На відміну від АЗС, заряджання (особливо АС/середньої потужності або DC з неповною зарядкою) створює вимірюваний час перебування клієнта на підприємстві. Якщо цей час інтегрується з послугами СТО (огляд, діагностика, дрібні регламентні роботи), зростає ймовірність додаткових продажів і повторних звернень [9]. Практика розміщення зарядної

інфраструктури на об'єктах сервісу/торгівлі підкреслює, що час заряджання може бути перетворений у сервісну взаємодію, а не «втрачений час» [10].

3) Технологічна інтеграція заряджання з сервісним процесом і специфікою електромобіля. Електромобілі змінюють структуру сервісних операцій: зменшується частка робіт, характерних для ДВЗ, але зростає роль діагностування, робіт з високовольтними компонентами, контролю стану тягової батареї та систем керування енергією [11]. Зарядний хаб при СТО логічно доповнює цю трансформацію: під час заряджання можуть виконуватися діагностичні процедури, оновлення ПЗ, перевірки систем терморегулювання батареї, а також підготовка авто до наступного циклу експлуатації (зокрема для корпоративних клієнтів).

4) Енергетична та мережева доцільність: керування потужністю замість нарощування існуючої. Для СТО критичним є обмеження за приєднаною потужністю та вартістю її збільшення. Досвід інтеграції заряджання в існуючий сервісний об'єкт показує, що завдяки керуванню навантаженням, локальному накопиченню енергії та/або ВДЕ можливо розмістити кілька зарядних точок без пропорційного збільшення договірної потужності, зменшуючи пікові навантаження та витрати на приєднання [11]. Це безпосередньо формує вимоги до проєктування хабу (коефіцієнт одночасності, пріоритети, обмеження піків), які надалі будуть реалізовані в даній роботі.

5) Відповідність сучасним вимогам до інфраструктури заряджання. Європейське регуляторне поле посилює вимоги до інтероперабельності, прозорості умов користування та цифрових сервісів (інформаційні та платіжні рішення) [5]. Для СТО це означає, що зарядний хаб має розглядатися як частина сервісної екосистеми підприємства (реєстрація/бронювання, тарифи, контроль часу, інтеграція з системою автоматизації взаємодії з клієнтами), а не як окремо встановлене обладнання.

Таким чином, зарядний хаб при СТО виконує одночасно: функцію розширення сервісної пропозиції та доходів; підвищення зручності для клієнта через поєднання заряджання й технічного обслуговування; інструмент

енергоменеджменту та оптимізації потужності на об'єкті; механізм адаптації СТО до структурних змін ринку автомобільного сервісу, зумовлених електрифікацією транспорту [1; 9; 11].

1.3 Класифікація зарядних станцій та режими заряджання електромобілів

Зарядна інфраструктура для електромобілів формується як сукупність обладнання живлення електромобіля (EVSE), електромережових підключень, систем керування та інтерфейсів взаємодії «авто–станція–оператор». У практиці проектування зарядних хабів при СТО доцільно застосовувати класифікацію за режимом заряджання (Mode 1–4), характером струму (AC/DC), рівнем потужності, типом роз'єму, а також за сценарієм використання (клієнтський/службовий/флотський) [12; 13; 14; 15].

Класифікація за режимом заряджання, згідно ІЕС 61851. Стандарт ІЕС 61851 (в Україні гармонізований як ДСТУ EN ІЕС 61851-1:2021) визначає чотири базові режими заряджання електромобілів – Mode 1–4, що різняться способом підключення, наявністю захисту/керування та типом EVSE [12].

Таблиця 1.1 – Режими заряджання електромобілів (Mode 1–4) та практичне застосування при СТО [12]

Режим	Суть підключення	Тип струму /типіві потужності (орієнтовно)	Типове застосування	Практична придатність для СТО
Mode 1	Підключення до звичайної розетки без спеціальних засобів керування/захисту з боку EVSE	АС / низькі (повільне заряджання)	побутове, обмежено	Не рекомендовано для комерційного сервісу через вимоги безпеки та контролю

Режим	Суть підключення	Тип струму / типові потужності (орієнтовно)	Типове застосування	Практична придатність для СТО
Mode 2	Підключення до розетки з кабелем, що має вбудований блок керування/захисту (IC-CPD)	АС / низькі/ середні	тимчасове/приватне	Допустимо як допоміжний сценарій, але не як «хабовий» стандарт
Mode 3	Підключення до стаціонарної АС-станції з керуванням і захистами (EVSE)	АС / середні (типово 3,7–22 кВт)	паркінги, комерційні об'єкти	Основний режим для СТО (планове перебування клієнта, сервісні роботи)
Mode 4	Заряджання від DC-станції (зовнішній випрямляч у станції)	DC / високі (типово 50–350+ кВт)	швидка зарядка на маршруті	Доцільно для хабів із піковими запитами та транзитним потоком

У таблиці 1.1 діапазони потужності наведено як типові для ринку; фактичні значення залежать від EVSE, мережі та можливостей автомобіля.)

Класифікація за характером струму та рівнем потужності.

АС-заряджання (Mode 2/3) реалізується через бортовий зарядний пристрій автомобіля, тому фактична потужність часто обмежена можливостями конкретної моделі (наприклад, 7,4; 11; 22 кВт). АС-станції є доцільними там, де автомобіль перебуває довше (ремонт/діагностування/очікування на СТО) [12].

DC-заряджання (Mode 4) подає енергію безпосередньо на батарею через зовнішній перетворювач у станції, що забезпечує високу швидкість, але потребує значної приєднаної потужності та керування піковими навантаженнями. На практиці швидке DC-заряджання супроводжується рівнем потужності лише на частині діапазону стану заряду; ближче до високих рівнів потужність зменшується, тому типовою сервісною ціллю є швидке поповнення до 70–80% [13].

У проєктах хабів часто застосовують умовний поділ за потужністю:

- повільні АС (орієнтовно до 7,4 кВт) – для довгого перебування;
- прискорені АС (11–22 кВт) – для клієнтів СТО з середнім часом очікування;
- швидкі DC (≈ 50 –150 кВт) – для швидкого поповнення енергії;
- НРС DC (≈ 150 –350+ кВт) – для транзитних сценаріїв та високого попиту.

Фізичний інтерфейс заряджання у Європі базується на стандартах серії ІЕС 62196:

- Type 2 (ІЕС 62196-2) – основний інтерфейс для АС-заряджання [14];
- CCS Combo 2 – комбінований інтерфейс для АС/DC, що використовується для DC-заряджання в Європі (у взаємозв'язку з ІЕС 62196-3) [15].

Окремо на ринку присутній стандарт CHAdeMO (переважно для DC-заряджання окремих моделей), що зумовлює потребу аналізу структури автопарку клієнтів при виборі конфігурації хабу [16].

1.4 Основні технічні параметри зарядного обладнання

Під час проєктування зарядного хабу при СТО зарядне обладнання доцільно розглядати як EVSE (electric vehicle supply equipment), параметри якого визначають: пропускну здатність; вимоги до електропостачання; сумісність з автопарком клієнтів; енергоефективність та експлуатаційні витрати [12].

Номінальна (встановлена) потужність зарядної станції – це паспортне значення максимальної потужності, яку станція може віддати на виході (для DC) або забезпечити на виході АС-інтерфейсу (для АС) за заданих умов (напруга, струм, температурний режим) [12]. Для СТО важливо розрізняти:

- $P_{\text{вих}}$ (вихідна потужність) – потужність, що надходить до авто (кВт);
- $P_{\text{вх}}$ (вхідна потужність) – потужність, що споживається з мережі (кВт або кВА);

- P_{Σ} (повна потужність) та $\cos\varphi$ (коефіцієнт потужності) — критично для вибору ввідного обладнання та лімітів договірної потужності [12].

Для DC-станцій виробники часто наводять також вхідний струм, вхідну схему (1/3 фази), $\cos\varphi$ та діапазон вихідної напруги DC (наприклад, 50–500 VDC або ширше для високовольтних систем), що визначає сумісність з сучасними EV та реальну потужність упродовж сесії [12].

Ключовим параметром є **тип інтерфейсу підключення**, який має відповідати домінуючим стандартам ринку:

- AC (Mode 3): Type 2 (IEC 62196-2) — базовий європейський стандарт для змінного струму [14];
- DC (Mode 4): CCS (Combo 2, IEC 62196-3) — основний стандарт швидкого заряджання в Європі; у частини автопарку можуть зберігатися DC-роз'єми CHAdeMO (актуально для окремих моделей/років випуску), що інколи потребує мультистандартного рішення [12; 17].

Для СТО практично важливо оцінювати не лише «який роз'єм», а й скільки кабелів/конекторів на станцію (один чи два) та чи можлива паралельна видача потужності (одночасне заряджання двох авто або почергове/пріоритетне) — це прямо впливає на пропускну здатність хабу.

У практиці зарядних хабів використовують показники:

- кількість портів (EVSE ports) — скільки авто може бути фізично підключено одночасно;
- кількість одночасних сесій — скільки авто реально заряджаються одночасно (для частини DC-рішень «2 конектори» $\neq$ «2 одночасні 50 кВт»);
- динамічний розподіл потужності — зниження пікових навантажень об'єкта при збереженні потрібної кількості підключень [12].

Для СТО (де присутні паралельні енергоспоживачі: підйомники, компресори, зварювальне обладнання тощо) параметр керованості потужності фактично стає не менш важливим, ніж паспортна потужність окремої станції.

ККД (η) зарядного обладнання визначає частку електроенергії, що перетворюється у корисну енергію заряджання, і впливає на:

- втрати електроенергії (та оплату за них),
- тепловиділення (потребу в вентиляції/охолодженні),
- надійність (температурні режими силових модулів).

На практиці для сучасних DC-станцій виробники вказують ККД на рівні близько 95% (для номінальних режимів), що підтверджується технічними паспортами обладнання (наприклад, для DC 50 кВт) [17; 18].

Ключові технічні параметри зарядного обладнання та їх значення для СТО наведено в таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 – Ключові технічні параметри зарядного обладнання та їх значення для СТО

Параметр	Визначення	Практичне значення для СТО	Типові орієнтири/примітки
Номінальна потужність $P_{\text{вих}}$, кВт	Максимальна потужність на виході	Визначає швидкість обслуговування/час зарядки	АС зазвичай 7,4–22 кВт; DC часто 50–150+ кВт (вибір залежить від сценарію)
Вхідні параметри (фази, U , I ; P_{Σ} , кВА)	Навантаження на мережу об'єкта	Вибір вводу, автоматики, кабелів, ліміту договірної потужності	Для DC 50 кВт характерні 3-фазне підключення та високі струми
Діапазон вихідної напруги (DC)	Сумісність з різними EV	Визначає, чи станція реалізує номінальну потужність для різних авто	Наприклад, 50–500 VDC (типово для 50 кВт)
Тип роз'єму/стандарт	Фізичний інтерфейс	Сумісність з автопарком клієнтів	Type 2 для АС (ЄС); CCS2 для DC; інколи CHAdeMO
Кількість портів/конекторів	Скільки авто можна підключити	Пропускна здатність і зручність клієнтів	Важливо уточнювати «2 конектори» чи «2 одночасні сесії»
ККД η , %	Втрати на перетворення	Впливає на витрати енергії та тепловий режим	Для DC-станцій у паспорті часто $\approx 95\%$

1.5 Фактори, що впливають на вибір типів зарядних станцій для СТО

Вибір конфігурації зарядного хабу при СТО є багатокритеріальною задачею, у якій технічні параметри EVSE (потужність, роз'єми, порти, ККД) повинні узгоджуватися з попитом, можливостями електропостачання, вимогами безпеки та цифрового керування заряджанням [5; 10; 12] (див. також табл. 1.3).

Таблиця 1.3 – Узагальнення факторів вибору зарядних станцій для СТО

Фактор	Вплив	Практичне рішення для СТО
Середній час перебування авто	Потужність (AC/DC)	Довге перебування → AC 7,4–22 кВт; коротке/транзит → DC 50–150 кВт+
Доступна (договірна) потужність об'єкта	К-сть портів, одночасність	Більше портів із керуванням потужністю замість “надпотужної” одиничної DC
Структура автопарку клієнтів	Типи роз'ємів	База: Type 2 + CCS2; CHAdeMO – за наявності підтвердженого попиту
Потрібна пропускна здатність	Кількість портів/сесій	Кількість конекторів та кількість одночасних сесій; сценарії пікового навантаження
Енергоефективність (ККД)	Втрати, тепло, витрати	Ураховувати ККД (типово ≈95% для DC на номіналі) в енергобалансі
Безпека та нормативи	Тип EVSE, компоновка	Перевага стаціонарним Mode 3/4 із відповідними захистами та вимогами пожежної безпеки
Вимоги користувача (оплата/інформування)	Обладнання/ПЗ	Обирати станції з можливістю обліку, віддаленого керування

Попит і сценарії перебування клієнтів – визначає потужність і тип станцій. Ключовий фактор – тривалість перебування авто на СТО та очікувана частота зарядних сесій. Якщо зарядка поєднується з діагностикою/ремонтom (30–180 хв і більше), доцільні AC 7,4–22 кВт; для транзитного потоку та “швидкого поповнення” (15–40 хв) — DC 50–150 кВт+ [3; 9]. Для України актуальність розвитку інфраструктури підтверджується загальною динамікою ринку електромобілів, що формує стійкий попит на зарядні послуги [10; 12].

Обмеження електропостачання СТО – визначає розрахункову потужність і кількість портів. Параметри підключення (договірна потужність, резерв по трансформатору/вводу, наявність 3-фазної мережі) задають верхню межу розрахункової потужності хабу та впливають на рішення щодо кількості портів і необхідності балансування навантаження [5; 10]. Для СТО це критично, оскільки зарядні навантаження працюють паралельно з технологічними споживачами (підйомники, компресори, зварювання).

Структура автопарку клієнтів і сумісність – визначає типи роз’ємів. Роз’єми обирають за принципом “максимум сумісності з основним потоком клієнтів”. Для Європи базовими є Type 2 (AC) і CCS Combo 2 (DC); наявність CHAdeMO доцільна лише за підтвердженої частки відповідних авто (зазвичай як мультистандартний DC-порт або через перехід до CCS у перспективі) [15; 19].

Пропускна здатність і рівень сервісу – визначає кількість портів і схему розподілу потужності. Для СТО важливий не тільки показник “скільки конекторів”, а скільки одночасних сесій і яка потужність доступна кожній сесії. Частина DC-станцій має 2 конектори, але обмежену одночасну віддачу (розподіл або пріоритет), що прямо впливає на черги та час очікування [10; 18]. Тому при проектуванні хабу доцільно закладати портовість із урахуванням коефіцієнта одночасності та керованого обмеження потужності [12; 18].

Енергоефективність (ККД) і тепловий режим – визначає втрати та експлуатаційні витрати. ККД зарядної станції впливає на втрати енергії, тепловиділення та вимоги до охолодження. Для сучасних DC-станцій у паспортних даних типовим є $\approx 95\%$ при номінальній потужності, що варто враховувати в розрахунках енергоспоживання та економіки [18]. Для AC-заряджання частина втрат припадає також на бортовий зарядний пристрій авто, тому фактична “системна” ефективність залежить від моделі електромобіля [10].

Вимоги безпеки та відповідність стандартам – впливає на тип станцій і компоновку. Комерційне заряджання на СТО повинно відповідати вимогам

стандартів зарядних систем (режими, захисти, керування) та вимогам пожежної безпеки для систем зарядки на стадії проектування [12]. Це обмежує застосування “побутових” схем (Mode 1/нестационарні рішення) та підсилює доцільність стаціонарних Mode 3 (AC) / Mode 4 (DC) для хабу.

Цифрове керування і «розумне заряджання» – впливає на реальну потужність і кількість портів. Якщо об’єкт має обмеження за потужністю, ключовим стає керування навантаженням (smart charging) – пріоритети, ліміти, розклад, динамічний розподіл потужності між портами. Підтримка OCPP 2.0.1 підвищує керованість зарядного хабу (моніторинг, безпека, «розумне заряджання», сумісність з ISO 15118 у частині інтеграції).

Висновки до розділу

Узагальнено сучасний стан та ключові тенденції розвитку електромобільності й зарядної інфраструктури, що підтверджують перехід від поодиноких зарядних точок до комплексних зарядних рішень з урахуванням різних сценаріїв користування, зростання частки електромобілів та посилення нормативних вимог до сумісності й зручності сервісу.

Обґрунтовано доцільність створення зарядного хабу саме при СТО як точки інтеграції заряджання з послугами технічного сервісу, що підвищує клієнтську цінність, розширює портфель послуг і забезпечує додаткові джерела доходу підприємства.

Установлено, що проектування зарядного хабу при СТО має базуватися на стандартизованому підході до класифікації зарядних станцій і режимів заряджання (Mode 1–4), виборі роз’ємів та цифрових протоколів керування, а також на визначенні ключових технічних параметрів зарядної інфраструктури.

Показано, що вибір типів зарядних станцій визначається сукупністю факторів: попитом і тривалістю перебування клієнтів, обмеженнями електропостачання СТО, структурою автопарку клієнтів, вимогами до

пропускної здатності та енергоефективності, а також потребою у керуванні навантаженням і відповідності нормам безпеки.

2 ВИХІДНІ ДАНІ ДЛЯ РОЗРОБЛЕННЯ ЗАРЯДНОГО ХАБУ ПРИ СТО

2.1 Загальна характеристика СТО як об'єкта дослідження

Станція технічного обслуговування (СТО), обрана як об'єкт дослідження, розглядається як виробничо-сервісне підприємство автомобільного транспорту, що забезпечує виконання робіт з технічного обслуговування, діагностування та ремонту транспортних засобів, а також супутніх сервісних послуг. У межах чинного правового поля України надання послуг ТО і ремонту регламентується профільними правилами, що визначають загальні вимоги до взаємовідносин «замовник–виконавець», оформлення замовлень і якості виконання робіт [20].

З позицій проєктування зарядного хабу СТО доцільно трактувати як об'єкт із комбінованими електричними навантаженнями, де поряд з технологічним обладнанням (підйомники, компресори, балансувальні стенди, зварювальне/електроінструмент тощо) з'являється додаткове потужне та кероване навантаження – EVSE. Тому при характеристиці СТО ключовими є: виробнича потужність (кількість постів/ліній), режим роботи та структура потоку клієнтів; інженерна інфраструктура й доступна електрична потужність; наявні площі під паркування/маневрування; можливості цифрової інтеграції сервісів (облік, бронювання, керування доступом) [21; 22].

Для подальших розрахунків у розділах 2–4 СТО описується через набір базових параметрів, які підлягають уточненню після вибору конкретного підприємства. З практичної точки зору зручно використовувати «паспорт об'єкта», що містить техніко-організаційні та енергетичні характеристики (табл. 2.1).

Таблиця 2.1 – Узагальнені вихідні характеристики СТО для проєктування зарядного хабу

Група параметрів	Показники (приклад структури даних)	Значення для зарядного хабу
Загальні відомості	тип СТО (універсальна/спеціалізована), локація (міська/приміська), доступність під'їздів, наявність парковки	формує потенційний попит і сценарії заїздів/перебування [21]
Виробнича потужність	кількість постів (ТО/ремонт/електрика/шиномонтажні роботи), пропускна здатність, середній час перебування автомобіля	визначає потенційну кількість зарядних сесій упродовж доби [21; 22]
Перелік послуг	ТО, діагностування, ремонт, шиномонтаж, мийка, тощо; можливі послуги для EV (HV-діагностика, перевірка батареї)	визначає доцільність AC/DC та тривалість “сервісної зарядки” [21]
Режим роботи	години роботи, пікові години, сезонність, частка корпоративних клієнтів	впливає на добовий графік навантаження та вимоги до портів [21; 22]
Інженерна інфраструктура	наявна договірна/доступна потужність, тип підключення (1/3-фазне), резерв потужності, наявність місця під щитову/кабельні траси	визначає верхню межу встановленої/розрахункової потужності EVSE [22]
Електроспоживачі СТО	перелік основного обладнання та його потужність, коефіцієнт одночасності	необхідно для суміщення технологічного навантаження з EVSE [22]
Територія і планування	площа майданчика, можливості розміщення зарядних місць, безпечні відстані/організація руху	впливає на кількість зарядних місць, зручність і безпеку [21]
Організація сервісу	порядок приймання авто, система запису, наявність CRM/касових рішень, контроль доступу	важливо для інтеграції зарядки в сервісну модель (облік, оплата, бронювання) [21]

Тому межах цієї роботи СТО розглядається як підприємство, де зарядний хаб має бути інтегрований у наявні технологічні процеси та енергетичну інфраструктуру. Такий підхід відповідає рекомендаціям щодо розміщення зарядної інфраструктури на комерційних майданчиках: необхідно враховувати клієнтські сценарії, існуючі електричні навантаження, організацію простору та вимоги до експлуатації й безпеки [21; 22].

2.2 Аналіз потенційного попиту на послуги заряджання автомобіля

Потенційний попит на заряджання при СТО доцільно оцінювати через три групи показників: типи клієнтів (які формують різні сценарії заряджання); кількість автомобілів/візитів упродовж доби; тривалість перебування (яка визначає доцільний тип зарядної станції та рівень потужності) [21; 22]. Зростання парку електромобілів в Україні та ЄС є додатковим чинником очікуваного підвищення попиту на зарядні послуги, зокрема на об'єктах сервісу [6; 7; 8].

Для СТО характерні такі основні типи клієнтів:

1. Клієнти сервісного обслуговування (основний потік СТО) – прибувають на ТО/ремонт/діагностування, мають середню тривалість перебування від десятків хвилин до кількох годин. Для них заряджання є супутньою послугою, що «вбудовується» у сервісний процес [21; 22].
2. Клієнти «швидкого обслуговування» – коротко термінові роботи (шиномонтажні, експрес-діагностування, дрібний ремонт). Для них актуальні прискорені AC або DC-сесії з обмеженим часом [21].
3. Корпоративні клієнти (таксі, служби доставки, корпоративні автопарки) – характеризуються регулярністю, прогнозованим графіком, можливими піками у визначені години. Для цієї групи важливі керованість потужності та можливість планування/пріоритезації заряджання [6].
4. Транзитні клієнти (не є постійними клієнтами даної СТО) – використовують зарядний хаб як швидку зупинку «по маршруту»; потребують DC-заряджання і мінімального часу обслуговування (якщо локація СТО має транспортну привабливість) [21; 23].

У межах даної роботи попит доцільно оцінювати за сценаріями, прив'язуючи його до розміру СТО (кількість постів) та частки електромобілів у клієнтському потоці. Практично корисною є модель:

- N_k , – кількість візитів на добу (залежить від кількості постів і режиму роботи СТО);

- k_{EV} — частка EV/plug-in серед клієнтів СТО;
- $k_{заряд}$ — частка клієнтів-електромобілів, які фактично потребують заряджання на СТО;

Тоді, кількість автомобілів, які заряджатиметься на СТО, буде становити:

$$N_{заряд} = N_{к} \cdot k_{EV} \cdot k_{заряд} \quad (2.1)$$

Такий підхід узгоджується з рекомендаціями для майданчиків зарядних станцій, де попит визначають через клієнтські сценарії, тривалість перебування та очікувану частоту користування зарядкою [21; 22].

Тривалість перебування на майданчику є ключовим параметром: для різних локацій та сценаріїв характерні різні інтервали часу стоянки (перебування), які використовують при виборі потужності EVSE [21; 24]. Для СТО типово виділяють [21; 22]:

- коротке перебування: ~0,5–1,5 год (експрес-послуги) → доцільні прискорені АС (11–22 кВт) або DC (50 кВт за наявності);
- середнє перебування: ~1,5–3 год (переважно діагностування/ТО) → ефективні АС 11–22 кВт;
- тривале перебування: 3+ год (складні ремонти) → АС 7,4–11 кВт або кероване АС із більшим числом портів.

Таблиця 2.2 – Оцінка попиту на заряджання для трьох типів СТО за сценарним підходом.

Тип СТО (за кількістю постів)	Типовий клієнтський профіль	Очікуваний попит на зарядку	Типова тривалість перебування	Висновок для зарядних рішень
Мала СТО (до 5 постів)	переважно приватні клієнти; роботи малої трудомісткості	низький, але стабільний; переважно «сервісне заряджання»	0,5–3 год	акцент на АС 7,4–22 кВт, 1–2 порти; DC доцільний лише за транзитного трафіку

Тип СТО (за кількістю постів)	Типовий клієнтський профіль	Очікуваний попит на зарядку	Типова тривалість перебування	Висновок для зарядних рішень
Середня СТО (5– 10 постів)	приватні та частково корпоративні; різні види робіт	середній; можливі піки в години приймання/ видачі автомобілів	1–4 год	комбінація АС (більше портів) + за потреби 1 DC; бажане керування потужністю
Велика СТО (>10 постів)	значна частка потoku; можливі корпоративні клієнти; транзит	високий; ймовірні черги без достатньої кількості портів	0,5–6 і більше год	змішана конфігурація АС+DC, пріоритет портів й керованості (балансування навантаження)

Таким чином, попит на заряджання при СТО формується переважно клієнтами сервісного обслуговування (зарядка як супутня послуга), а його рівень визначається масштабом підприємства (кількістю постів), режимом роботи, часткою EV у потоці та типовою тривалістю перебування. Для малих СТО раціональним є акцент на АС-заряджання, для середніх і великих – перехід до змішаних конфігурацій із керованим розподілом потужності та достатньою кількістю портів для уникнення черг. З урахуванням динаміки електромобільності в Україні та ЄС очікується подальше зростання потреби в зарядних послугах, що підвищує актуальність коректного прогнозування попиту на етапі проєктування.

2.3 Аналіз інженерної інфраструктури СТО

Інженерна інфраструктура СТО визначає реалістичні межі для конфігурації зарядного хабу: яку встановлену/розрахункову потужність можна забезпечити, скільки зарядних місць (портів) доцільно розмістити, які режими роботи можливі без перевищення лімітів та яким способом виконати приєднання/модернізацію [21; 22]. В українських умовах рішення щодо

підключення та зміни параметрів електропостачання мають відповідати вимогам Кодексу систем розподілу та Правил роздрібного ринку електричної енергії [25; 26], а виконання електромонтажних рішень для EVSE — профільним стандартам електроустановок, зокрема ІЕС 60364-7-722, а також серії ІЕС 61851 щодо зарядних систем [22; 27].

Для оцінки можливості впровадження зарядного хабу на СТО необхідно проаналізувати:

- договірну (дозволену) потужність та фактичні піки споживання;
- тип приєднання, кількість фаз, якість електроенергії;
- облік та комерційні вузли (окремий облік зарядного хабу, багатотарифність);
- можливості керування навантаженням (динамічне обмеження потужності, розподіл між портами), що є рекомендованою практикою для майданчиків із змішаними навантаженнями [21; 22].

Підходи до оцінювання електричної готовності об'єкта та необхідності модернізації узгоджуються з рекомендаціями DOE/NREL щодо розміщення EVSE (обстеження наявних потужностей, щитового обладнання, кабельних трас і режимів роботи споживачів) [21; 22].

Режим роботи СТО (години приймання/видачі авто, пікові періоди сервісу, сезонність) визначає:

- часові проміжки заряджання (коли заряджання може бути максимально інтенсивним);
- необхідність нічного заряджання (за умови цілодобового доступу або корпоративних клієнтів);
- доцільність розподілу потужності між технологічними споживачами СТО та EVSE для уникнення перевищення піків [21; 22].

Для більшості СТО характерна концентрація навантажень у робочі години; це підсилює вимогу до керованості потужності EVSE (обмеження, пріоритети) як технічно й економічно ефективнішої альтернативи простому нарощуванню приєднаної потужності [21].

При оцінці території СТО важливі:

- кількість місць для паркування та маневрування, схема заїзду/виїзду;
- можливість прокладання кабельних трас;
- виділення зон під АС-паркування (довші стоянки) та DC-зону (короткі сесії з високою оборотністю);

З техніко-організаційної точки зору для СТО типові варіанти підключення наведено в таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 – Типові варіанти формування зарядного хабу на СТО різної потужності

Тип СТО	Електропостачання (типовий рівень складності)	Площі/планування	Найімовірніші рішення підключення хабу
Мала (до 5 постів)	обмежений резерв по вводу; простіша щитова	обмежена площа паркування; 1–2 зарядні місця	АС у межах наявної потужності та базове лімітування
Середня (5–10 постів)	змішані технологічні навантаження; потрібне розділення потужностей	доцільно виділити окрему зону	АС (більше портів) та, за потреби, 1 DC; обов'язково керування навантаженням
Велика (>10 постів)	високі піки; часто потрібна реконструкція приєднання	доцільне окреме зонування АС/DC	АС+DC з диспетчеризацією; можливе збільшення потужності

Інженерна інфраструктура СТО є визначальним обмеженням і одночасно ресурсом для проєктування зарядного хабу. Для малих СТО переважає сценарій АС-зарядок у межах доступної потужності; для середніх і великих – ключовим стає поєднання портовості з керуванням навантаженням, а у разі дефіциту потужності – обґрунтування модернізації приєднання відповідно до вимог ОСР та правил роздрібного ринку.

2.4 Формування розрахункових сценаріїв роботи зарядного хабу

Для обґрунтування конфігурації зарядного хабу (кількість портів, типи АС/DC, встановлена й розрахункова потужність, режими керування) доцільно

застосовувати сценарний підхід. Він рекомендований для об'єктів зарядної інфраструктури, оскільки попит на заряджання суттєво коливається за часом доби, сезоном, структурою клієнтів та часткою електромобілів у потоці [23; 4]. Сценарії формуються для трьох типів СТО: мала (до 5 постів), середня (5–10 постів), велика (>10 постів).

У межах роботи сценарій описується набором показників:

- N_k – кількість візитів на СТО за добу;
- k_{EV} – частка електромобілів у потоці;
- $k_{заряд}$ – частка EV, що потребують заряджання саме на СТО;
- $N_{заряд}$ – кількість зарядних сесій на добу, згідно (2.1);
- $t_{перев}$ – середня тривалість перебування на СТО, год;
- $E_{од}$ – кількість енергії однієї сесії (кВт·год);
- $k_{сум}$ – коефіцієнт одночасності заряджання (для оцінки пікової потужності);
- k_{max} – коефіцієнт піковості (частка добового попиту, що концентрується в пікові години).

Ці параметри узгоджуються з практикою планування EVSE для комерційних майданчиків та рекомендаціями щодо визначення необхідної кількості портів і режимів роботи [23; 24]. Вимоги до безпечної реалізації режимів заряджання та відповідних схем EVSE приймають за стандартами зарядних систем і електроустановок для EV [12; 27].

Опис сценаріїв наведено нижче, а їх зміст у таблиці 2.4.

Таблиця 2.4 – Сценарії роботи зарядного хабу для СТО різної потужності

Тип СТО	Базовий сценарій (типовий день)	Піковий сценарій (максимум)	Перспективний сценарій (3–5 років)
Мала (до 5 постів)	Невеликий $N_{заряд}$; зарядка переважно “під сервіс” (довше $t_{перев}$); домінує АС	Короткочасні накладання 1–2 сесій; ризик піків через інші споживачі СТО → потрібне лімітування	Зростання $k_{EV} \rightarrow$ потреба у збільшенні портів АС (а не різкого зростання потужності); можливе додавання 1 DC за появи транзиту

Тип СТО	Базовий сценарій (типовий день)	Піковий сценарій (максимум)	Перспективний сценарій (3–5 років)
Середня (5–10 постів)	Стабільні $N_{\text{заряд}}$, можливі корпоративні клієнти; комбінація АС (основа) + опційно DC	Виражені пікові години: зростає $k_{\text{сум}}$, формується черга без керування → потрібні правила пріоритетів/розподіл у потужності	Зростає частка EV та вимоги до швидкості; доцільне масштабування (додавання портів, DC/друга DC) і підготовка інфраструктури
Велика (>10 постів)	Вищий $N_{\text{заряд}}$; можливі корпоративні клієнти; необхідна керованість і розділення зон АС/DC	Максимальні накладання сесій; високий ризик перевищення лімітів без «розумних» станцій; потрібні балансування, пріоритезація, контроль часу	Розширення портовості та/або DC-потужності; імовірна потреба модернізації приєднання та цифрової диспетчеризації хабу

Базовий сценарій – відображає типовий (середньодобовий) рівень попиту та завантаження СТО у звичайні робочі дні. Використовується для вибору раціональної конфігурації хабу без перевищення доступної потужності, із можливістю балансування навантаження [23; 24].

Піковий сценарій – описує періоди максимального навантаження (пікові години приймання/видачі авто, сезонні піки, збіг кількох зарядних запитів). Мета – перевірити, чи забезпечуються прийнятні черги та чи не перевищуються ліміти електропостачання; у разі потреби – визначити правила пріоритезації/лімітування потужності [12; 23; 24].

Перспективний сценарій – прогнозує роботу хабу на горизонті 3–5 років за умов зростання частки EV у потоці, появи флотських клієнтів або підвищення вимог до швидкості заряджання (зростання частки DC-сесій). Він потрібен для обґрунтування масштабованості: резерв місць, можливість додавання портів, модернізації приєднання, впровадження більш розвинутого керування навантаженням [23; 24].

2.5 Критерії вибору конфігурації зарядного хабу

Вибір конфігурації зарядного хабу при СТО (співвідношення AC/DC, потужності, кількість портів, схема керування навантаженням) доцільно виконувати на основі системи критеріїв, які узгоджують попит (сценарії базовий/піковий/перспективний), інженерні обмеження об'єкта та економічну доцільність. Такий підхід відповідає рекомендаціям щодо планування EVSE для комерційних майданчиків та практиці оцінювання інфраструктури заряджання через параметри пропускної здатності, електричної готовності, витрат і керованості [22; 23]. Вимоги до технічної реалізації режимів заряджання і безпеки приймають за стандартами зарядних систем та електроустановок для EV [12; 27].

Базові критерії для проектування зарядного хабу на СТО (єдині для всіх типів СТО):

1. Пропускна здатність і рівень сервісу. Оцінюється кількістю зарядних сесій/добу, імовірністю черг у пікові години, середнім/граничним часом очікування та часткою клієнтів, які отримали заряджання в прийнятний час. Практично це переводиться в вимоги до кількості портів і типів станцій (AC/DC) [22; 23].
2. Відповідність сценаріям перебування клієнтів. Конфігурація має узгоджувати потужність станцій з типовими інтервалами перебування на СТО: «сервісне» заряджання під час ТО/ремонту (переважно AC) та швидкі зарядки для транзитного/експрес-потoku (DC за наявності попиту) [22].
3. Електрична сумісність з об'єктом та обмеження приєднаної потужності. Критерій включає: доступну договірну потужність, пікове навантаження СТО, резерв по ввідному обладнанню, можливість виділення окремих фідерів під EVSE. Рішення повинно забезпечувати роботу без перевищення лімітів або передбачати технічно обґрунтовану модернізацію приєднання [21; 27].

4. Керованість навантаження (розумні зарядні станції, розумне заряджання). Наявність функцій динамічного обмеження потужності, пріоритезації портів, розподілу потужності та інтеграції з системою керування (CSMS) знижує вимоги до нарощування приєднаної потужності та підвищує надійність роботи хабу в пікові години [23].
5. Сумісність роз'ємів і покриття клієнтського автопарку. Вибір інтерфейсів (Type 2 для AC; CCS2 для DC) має забезпечувати максимальне покриття типового потоку клієнтів; додаткові інтерфейси (наприклад, CHAdeMO) доцільні лише за підтвердженої структури автопарку [12; 15].
6. Енергоефективність (ККД) та експлуатаційні витрати. ККД зарядних станцій (особливо DC) впливає на втрати, теплові режими та витрати на електроенергію/охолодження. Критерій враховується при розрахунках енергоспоживання та економічної ефективності [18; 23].
7. Безпека та відповідність нормативним вимогам. Конфігурація повинна відповідати стандартам зарядних систем, вимогам до спеціальних електроустановок для EV, електробезпеці, захистам та умовам монтажу (зовнішнє/внутрішнє розміщення, ступінь захисту, відстані, заземлення) [12; 27].
8. Масштабованість і можливість поетапного розвитку. Для перспективного сценарію важливо закласти резерв: місця під додаткові порти, можливість нарощування потужності, модернізації щитової/кабельних трас, підключення додаткового DC-модуля тощо [22; 23].

Наведені критерії є спільними, однак їх вага відрізняється залежно від масштабу СТО (табл. 2.5).

Таблиця 2.5 – Пріоритетність критеріїв вибору конфігурації зарядного хабу для різних типів СТО

Критерій	СТО до 5 постів	СТО 5–10 постів	СТО >10 постів
Пропускна здатність/черги	середній пріоритет	високий	дуже високий
Відповідність тривалості перебування	високий (АС як база)	високий	високий (зонування АС/DC)
Обмеження приєднаної потужності	дуже високий	дуже високий	дуже високий
Керованість потужності (розумне заряджання)	високий (просте лімітування)	дуже високий	критичний (диспетчеризація)
Сумісність роз'ємів	високий (Type2/CCS2)	високий	високий + можливі мультиінтерфейси за попитом
Енергоефективність (ККД)	середній	високий	високий
Безпека/стандарти	обов'язковий	обов'язковий	обов'язковий
Масштабованість	середній (резерв під 1–2 порти)	високий	дуже високий (поетапне розширення)

Отож, для малих СТО ключовими стають обмеження електропостачання та відповідність тривалості перебування (переважно АС з 1–2 портами і лімітуванням). Для середніх СТО важливими є керованість навантаження та баланс між портовістю АС і доцільністю одного DC-рішення. Для великих СТО критичними є пропускна здатність у піках, диспетчеризація/пріоритезація заряджання, зонування АС/DC та масштабованість інженерної інфраструктури.

Висновки до розділу

Розглянуто СТО як об'єкт дослідження для впровадження зарядного хабу з позицій поєднання виробничо-сервісних процесів та комбінованих електричних навантажень, де EVSE розглядається як додаткове кероване

навантаження, що повинне бути інтегроване в режим роботи, просторову організацію та цифрові сервіси підприємства

Показано, що попит на заряджання при СТО доцільно оцінювати за типами клієнтів і тривалістю перебування, а також прив'язувати до масштабу СТО (до 5 постів; 5–10; понад 10), оскільки саме це визначає вимоги до портовості, доцільність AC/DC та характер пікових навантажень

Сформовано розрахункові сценарії роботи зарядного хабу (базовий, піковий, перспективний), які дозволяють перейти від якісної характеристики попиту до кількісних розрахунків потужності та графіків навантаження, а також перевірити стійкість рішень в умовах піків і зростання частки EV

Обґрунтовано систему критеріїв вибору конфігурації хабу, де для малих СТО пріоритетними є обмеження електропостачання та відповідність тривалості перебування (АС як база), для середніх – керованість навантаження й баланс портовості, для великих – пропускна здатність у піках, диспетчеризація та масштабованість інфраструктури.

3 РОЗРОБЛЕННЯ ЗАРЯДНОГО ХАБУ ПРИ СТО

3.1 Обґрунтування складу зарядного хабу

Зарядний хаб при станції технічного обслуговування (СТО) доцільно розглядати як інтегрований техніко-організаційний комплекс, що включає зарядні станції (EVSE), елементи електротехнічної інфраструктури, засоби обліку та програмно-апаратні рішення керування заряджанням. Склад хабу визначається потребою забезпечити необхідну пропускну здатність у базовому та піковому режимах роботи за умови дотримання обмежень електропостачання об'єкта та вимог безпеки [22; 23]. Нормативно-технічну основу вибору та експлуатації EVSE становлять вимоги щодо режимів провідного заряджання електромобілів (серія ІЕС 61851), а також вимоги до спеціальних електроустановок для живлення електромобілів (ІЕС 60364-7-722) [12; 27]. Сумісність із автопарком клієнтів забезпечується вибором інтерфейсів підключення та відповідних стандартів (Type 2 для AC і CCS2 для DC), що узгоджується з практикою європейського ринку [15]. Для забезпечення керованості хабу (облік, моніторинг, тарифікація, дистанційне керування, обмеження потужності та розподіл навантаження) доцільною є підтримка протоколів взаємодії зарядних станцій із центральною системою керування (CSMS), зокрема OCPP [29].

Структурні елементи зарядного хабу включають:

- 1) Зарядне обладнання (EVSE):
 - AC-станції (Mode 3) потужністю 7,4–22 кВт із роз'ємом Type 2 – основний компонент хабу для сценаріїв «сервісного заряджання», коли автомобіль перебуває на СТО впродовж часу виконання робіт з ТО, діагностування або ремонту [12; 21].
 - DC-станції (Mode 4) потужністю 50–150 кВт (за потреби більше) з інтерфейсом CCS2 — доцільні для коротких сесій заряджання та/або транзитного потоку, а також для зменшення часу очікування клієнтів у пікові періоди [22; 23; 28].

2) Електротехнічна інфраструктура: передбачає виділену секцію/щит EVSE з комутаційною апаратурою та захистами, можливість розділення фідерів зарядних станцій, організацію кабельних трас, виконання заземлення й зрівнювання потенціалів, а також резерви для подальшого розширення. Вимоги до монтажу та електробезпеки приймаються відповідно до профільних стандартів електроустановок для живлення електромобілів [22; 27].

3) Засоби обліку та керування: до складу хабу доцільно включати вузол обліку або субоблік електроенергії зарядного комплексу, а також систему керування зарядними сесіями (CSMS).

4) Планувально-організаційні рішення: передбачають визначення зон заряджання (АС і за потреби DC), організацію заїзду/виїзду, маркування та навігацію, освітлення, а також елементи пасивного захисту обладнання від механічних пошкоджень (відбійники/стовпчики). Такі рішення є складовою забезпечення безпечної експлуатації та стабільної пропускної здатності хабу [22; 27].

З урахуванням результатів розділу 2 (попит, інженерні обмеження, сценарії базовий/піковий/перспективний) рекомендований склад зарядного хабу доцільно диференціювати за масштабом СТО (кількістю постів) (табл. 3.1).

Таблиця 3.1 – Рекомендований базовий склад зарядного хабу залежно від типу СТО

Тип СТО	Рекомендований склад EVSE (базова конфігурація)	Додаткові елементи	Обґрунтування
Мала (до 5 постів)	АС 7,4–22 кВт: 1–2 порти (Туре 2)	базове лімітування потужності; субоблік	Попит переважно формується «під сервіс», а визначальним обмеженням є доступна потужність; доцільним є забезпечення мінімально достатньої портовості без створення пікових перевантажень

Тип СТО	Рекомендований склад EVSE (базова конфігурація)	Додаткові елементи	Обґрунтування
Середня (5–10 постів)	АС 11–22 кВт: 2–4 порти (Type 2) + опційно DC $\approx$ 50 кВт: 1 пост (CCS2)	керування навантаженням; CSMS/OCPP	Поєднання різних сценаріїв перебування клієнтів зумовлює доцільність АС як бази та DC як інструмента підвищення рівня сервісу в піках; ключовою умовою є керованість навантаження
Велика (>10 постів)	АС 11–22 кВт: 4–8+ портів + DC 50–150 кВт: 1–2 пости (CCS2)	диспетчеризація (CSMS), пріоритезація портів; резерви під розширення	Вищий попит і ймовірність одночасних сесій потребують поєднання портовості та технологій «розумного» заряджання; важливо закласти можливість нарощування EVSE)

Таким чином, для всіх типів СТО базовим елементом зарядного хабу є АС-заряджання (Mode 3), яке найбільш відповідає типовій тривалості перебування автомобіля під час виконання сервісних робіт. DC-заряджання (Mode 4) доцільно впроваджувати переважно для середніх і великих СТО або за наявності транзитного попиту, оскільки воно підвищує рівень сервісу, однак формує підвищені вимоги до електропостачання та керованості навантаження. З огляду на обмеження договірної потужності СТО, пріоритетним рішенням у більшості випадків є збільшення портовості разом із впровадженням керування потужністю, що забезпечує стійку роботу хабу в пікові періоди без непропорційного нарощування приєднаної потужності. Обов'язковою умовою є дотримання вимог стандартів щодо зарядних систем та спеціальних електроустановок для живлення електромобілів.

3.2 Розрахунок електричної потужності зарядного хабу

Розрахунок потужності зарядного хабу при СТО виконується з метою визначення: встановленої потужності (паспортної суми потужностей EVSE) та розрахункової (попитової) потужності, яка реально формується з урахуванням

одночасності зарядних сесій, режимів керування навантаженням та паралельної роботи технологічного обладнання СТО [21; 22]. Вимоги до зарядних систем і їх режимів приймаються відповідно до ДСТУ EN IEC 61851-1:2021, а вимоги до електроустановок, що живлять електромобілі, – відповідно до IEC 60364-7-722 [12; 27]. З позицій безпечного впровадження зарядних систем також враховуються положення національного стандарту щодо протипожежного захисту систем зарядки електромобілів [12].

Вихідні положення та розрахункові залежності.

Встановлена потужність зарядного хабу:

$$P_{\text{хаб}} = \sum_{i=1}^n P_i \quad (3.1)$$

де P_i – номінальна потужність i -тої зарядної точки/станції (кВт)

n – кількість зарядних точок.

Розрахункова потужність зарядного хабу (з урахуванням одночасності):

$$P_{\text{хаб одн.}} = \sum_j (P_{\text{хаб},j} \cdot k_{\text{сум},j}) \quad (3.2)$$

де j – групи навантажень (AC, DC);

$k_{\text{сум},j}$ – коефіцієнт одночасності для відповідної групи.

Сумарна розрахункова потужність СТО та зарядного хабу:

$$P_{\Sigma} = P_{\text{хаб}} + P_{\text{СТО}} \quad (3.3)$$

де $P_{\text{СТО}}$ – розрахункова потужність технологічного обладнання СТО (кВт).

Значення $k_{\text{сум}}$ приймаються за сценарним підходом (базовий/піковий/перспективний) і практикою планування EVSE для майданчиків-хостів. У рамках даної роботи вони задаються як обґрунтовані припущення з подальшим уточненням за фактичними даними СТО [22; 23].

Для формування розрахунків прийнято три типи СТО за кількістю постів: до 5, 5–10, >10. Вихідні дані є умовними (типові для міської СТО) та надалі повинні уточнюватися для конкретного підприємства.

Прийняті припущення:

- для «сервісної» зарядки (переважно час перебування 1–4 год) основу складають АС-порти 11–22 кВт;
- DC застосовується як інструмент зменшення часу очікування в піку та/або для транзитного потоку;
- для АС приймаємо $k_{\text{сумАС}}=0,5\dots0,7$, для DC – $k_{\text{сумDC}}=0,7\dots0,85$ (у DC ймовірність одночасного використання нижча за кількістю портів, але кожна сесія інтенсивніша за потужністю) [22; 23].
- додатково враховується розрахункове технологічне навантаження СТО $P_{\text{СТО}}$ (підйомники, компресор, освітлення, інструмент тощо) [22].

На основі наведених вихідних даних та припущень здійснено розрахунки та визначено потужність зарядного хабу для СТО різних типів (табл. 3.2).

Таблиця 3.2 – Встановлена та розрахункова потужність зарядного хабу

Тип СТО	Конфігурація EVSE	$P_{\text{хаб}}$, кВт	$k_{\text{сум}}$	$P_{\text{хаб одн.}}$, кВт	$P_{\text{СТО}}$, кВт	P_{Σ} , кВт
До 5 постів	2×АС 22 кВт (Type 2)	44	$k_{\text{сумАС}}=0,7$	$44 \cdot 0,7=30,8$	25	55,8
5–10 постів	4×АС 22 кВт + 1×DC 50 кВт (CCS2)	138	$k_{\text{сумАС}}=0,6$; $k_{\text{сумDC}}=0,8$	$88 \cdot 0,6+50 \cdot 0,8=52,8+40=92,8$	50	142,8
>10 постів	8×АС 22 кВт + 2×DC 100 кВт (CCS2)	376	$k_{\text{сумАС}}=0,5$; $k_{\text{сумDC}}=0,7$	$176 \cdot 0,5+200 \cdot 0,7=88+140=228$	120	348

Для СТО малої потужності значення встановленої потужності зарядного обладнання $P_{\text{хаб}}=44$ кВт відображає суму паспортних потужностей EVSE, однак не характеризує фактичне навантаження об'єкта в реальному режимі експлуатації. З урахуванням коефіцієнта одночасності розрахункова потужність зарядного хабу становить близько $P_{\text{хаб одн.}} \approx 31$ кВт, а з урахуванням технологічного електроспоживання СТО сумарна розрахункова потужність досягає орієнтовно $P_{\Sigma} \approx 56$ кВт. Такий склад хабу є характерним для «сервісного» заряджання та забезпечує 1–2 паралельні зарядні сесії без перевищення лімітів приєднаної потужності.

Для СТО середньої потужності змішана конфігурація (АС як базовий компонент із додаванням однієї DC-станції) формує сумарну розрахункову потужність об'єкта на рівні $P_{\Sigma} \approx 143$ кВт. Отриманий результат свідчить, що впровадження DC-заряджання суттєво підвищує вимоги до електропостачання, а тому потребує обов'язкового застосування засобів керування навантаженням та перевірки резервів ввідного й розподільчого обладнання.

Для СТО великої потужності сумарне розрахункове навантаження може наближатися до 350 кВт, що, як правило, зумовлює необхідність застосування диспетчеризації потужності (керованого заряджання), поетапного нарощування кількості портів/станцій із контролем пікових навантажень, а за дефіциту доступної потужності – технічно обґрунтованої модернізації приєднання відповідно до вимог до електроустановок для живлення електромобілів.

3.3 Вибір співвідношення повільних, прискорених і швидких зарядних станцій

Вибір співвідношення зарядних станцій різних класів у складі хабу при СТО доцільно виконувати на основі узгодження:

- а) тривалості перебування автомобіля на сервісі;

б) очікуваної інтенсивності зарядних сесій у базовому та піковому сценаріях;

в) обмежень приєднаної потужності об'єкта та можливостей керування навантаженням.

У роботі застосовано практично орієнтований поділ за рівнем потужності та сценарієм використання [22; 23]:

- повільні АС (Mode 3): до ~7,4 кВт (1-фазні або 3-фазні з обмеженням струму) – для тривалого перебування (складні ремонти, стоянка);
- прискорені АС (Mode 3): 11–22 кВт (переважно 3-фазні, Type 2) – базове рішення для «сервісного заряджання» під час ТО/діагностики (1–4 год);
- швидкі DC (Mode 4): від ~50 кВт (CCS2; за потреби 100–150 кВт) – для коротких сесій, зменшення часу очікування та обслуговування транзитного потоку.

Межі потужності є узагальненими для задачі проектування; фактичні режими залежать від можливостей електромережі та приймальної здатності конкретного електромобіля [22; 30].

Ключовим принципом для СТО є домінування АС-заряджання як «природного» для сервісного сценарію (авто перебуває на майданчику достатньо довго), тоді як DC-заряджання виконує функції:

- скорочення часу очікування у пікові години;
- підвищення привабливості локації для клієнтів «по дорозі»;
- забезпечення вимог корпоративних/флотських клієнтів із жорстким графіком.

Водночас DC-станції формують високі пікові навантаження, тому їх частка має визначатися не лише попитом, а й реальною електричною готовністю об'єкта та наявністю керованого розподілу потужності. Для малих СТО зазвичай ефективніше збільшувати кількість АС-портів (портовість), ніж установлювати DC за обмеженої договірної потужності [22].

Рекомендовані співвідношення для трьох типів СТО наведено в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 – Рекомендована структура EVSE у складі зарядного хабу при СТО

Тип СТО	Мета конфігурації	Рекомендоване співвідношення станцій (повільні АС : прискорені АС : швидкі DC)	Коротке обґрунтування
Мала (до 5 постів)	«Сервісне заряджання» без перевищення лімітів приєднання	0–1 : 1–2 : 0	Основний попит формується клієнтами СТО з перебуванням 1–4 год; DC доцільний лише за наявності транзитного попиту та достатньої потужності
Середня (5–10 постів)	Баланс портовості й швидкого обслуговування у піках	0–1 : 2–4 : 0–1	Прискорені АС – базовий сегмент; 1 DC (≈ 50 кВт) раціональний як інструмент зменшення черг/підвищення рівня сервісу, за умови керування навантаженням
Велика (>10 постів)	Висока пропускна здатність + масштабованість	1–2 : 4–8+ : 1–2	Вищий ризик одночасних сесій у піку; потрібні і АС, і 1–2 DC для коротких сесій; обов'язкова диспетчеризація потужності

Висновки для подальших розрахунків:

- для всіх типів СТО прискорені АС (11–22 кВт) мають становити основу хабу, оскільки найкраще відповідають типовій тривалості перебування автомобіля під час сервісних робіт;
- повільні АС доцільно застосовувати як допоміжний сегмент (довга стоянка/нічні вікна/резерв портів) за обмеженої потужності;
- швидкі DC доцільно впроваджувати переважно на середніх і великих СТО або за підтвердженого транзитного/корпоративного попиту, оскільки вони суттєво підвищують вимоги до електропостачання й потребують керування навантаженням.

3.4 Розрахунок добових режимів роботи зарядного хабу та побудова графіків навантаження

Добовий режим роботи зарядного хабу визначає фактичне електричне навантаження об'єкта в часі та є підставою для перевірки: неперевищення лімітів електропостачання СТО; достатності кількості портів у пікові години; доцільності застосування керування потужністю [22; 23]. Методично доцільно формувати добові профілі навантаження на основі сценаріїв попиту та типових закономірностей заряджання (концентрація попиту в робочі/післяробочі години, вплив доступності зарядок на вирівнювання профілю) [31; 32].

Для кожного інтервалу часу Δt (наприклад, $\Delta t=1$ год) навантаження зарядного хабу оцінюється як:

$$P_{\text{хаб}}(t) = \sum_{i=1}^m P_i \cdot n_i(t) \cdot k_r(t) \quad (3.4)$$

де P_i – потужність i -го типу зарядки (повільна АС / прискорена АС / швидка DC)

$n_i(t)$ – кількість одночасних сесій цього типу у момент t ;

$k_r(t)$ – коефіцієнт редукції потужності через керування навантаженням (за відсутності керування $k_r(t)=1$). При цьому контрольним є обмеження:

$$P_{\text{хаб}}(t) + P_{\text{СТО}}(t) \leq P_{\text{lim}} \quad (3.5)$$

де P_{lim} – доступна/договірна потужність об'єкта [23].

Для м. Луцьк прийнято, що СТО працює 08:00–20:00, а максимальна концентрація клієнтів – 10:00–16:00 (пік сервісних операцій). Такий характер денного навантаження узгоджується з емпіричними спостереженнями щодо робочих зарядних сесій та їх часової концентрації в робочі години, а також із підходами до побудови погодинних профілів EV-навантаження [23; 32; 33].

Для кожного типу СТО використано конфігурації та розрахункові потужності, отримані в п. 3.2:

- до 5 постів: $P_{\text{хаб одн.}} \approx 31$ кВт;
- 5–10 постів: $P_{\text{хаб одн.}} \approx 93$ кВт;
- >10 постів: $P_{\text{хаб одн.}} \approx 228$ кВт.

Нижче, в табл. 3.4 та на рис. 3.1, наведено узагальнені погодинні профілі $P_{\text{хаб}}(t)$ (кВт) для трьох типів СТО. Значення подані як розрахункові (попитові) і не перевищують $P_{\text{хаб одн.}}$ для відповідного типу.

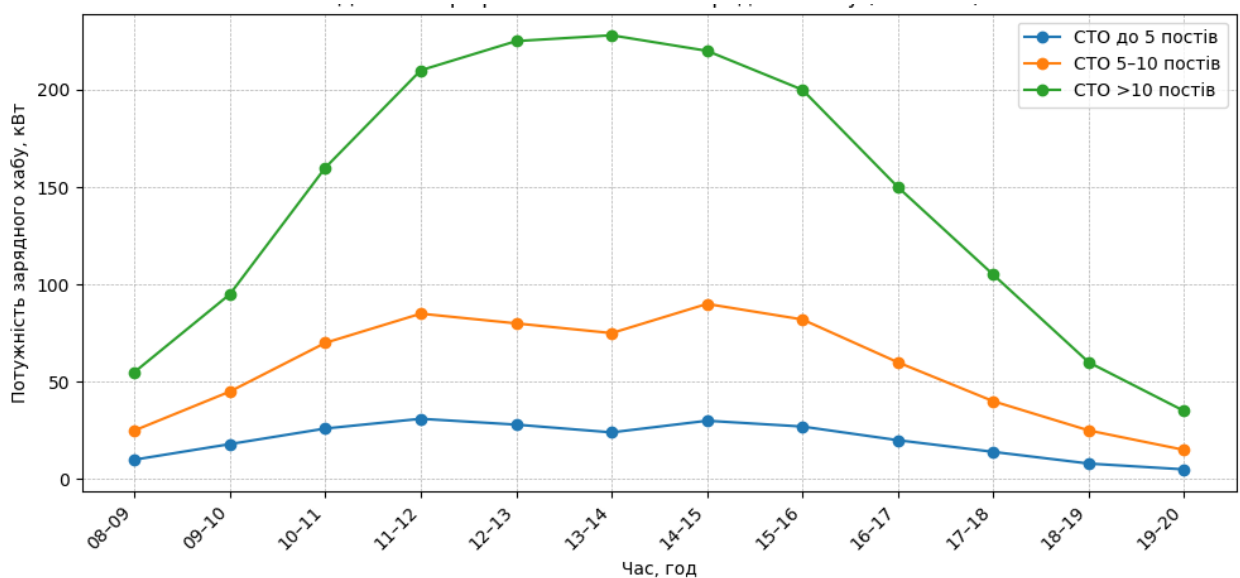


Рисунок 3.1 – Погодинний профіль потужності зарядного хабу $P_{\text{хаб}}(t)$

Таблиця 3.4 – Погодинний профіль потужності зарядного хабу $P_{\text{хаб}}(t)$, кВт (типовий робочий день)

Час	СТО до 5 постів	СТО 5–10 постів	СТО >10 постів
08–09	10	25	55
09–10	18	45	95
10–11	26	70	160
11–12	31	85	210
12–13	28	80	225
13–14	24	75	228
14–15	30	90	220

Час	СТО до 5 постів	СТО 5–10 постів	СТО >10 постів
15–16	27	82	200
16–17	20	60	150
17–18	14	40	105
18–19	8	25	60
19–20	5	15	35

Інтерпретація профілів.

- Для малої СТО профіль є відносно “пологим”, а пік формується переважно 1–2 паралельними АС-сесіями у денні години; це відповідає сценарію «зарядка під сервіс» без вираженого транзитного потоку.
- Для середньої СТО з’являється виражений пік у 11:00–15:00 за рахунок більшої кількості портів АС та можливих коротких DC-сесій, тому доцільним стає застосування лімітування/розподілу потужності, для уникнення перевищення лімітів об’єкта.
- Для великої СТО пік може наближатися до розрахункового значення, що характерно для об’єктів із високою імовірністю одночасних сесій; у таких умовах технології розумного заряджання використовується як інструмент стабілізації навантаження та зменшення пікових значень без втрати пропускної здатності в добовому вимірі.

Для отримання сумарного графіка необхідно додати технологічне навантаження СТО $P_{\text{СТО}}(t)$ до навантаження хабу $P_{\text{хаб}}(t)$ (рис. 3.2).

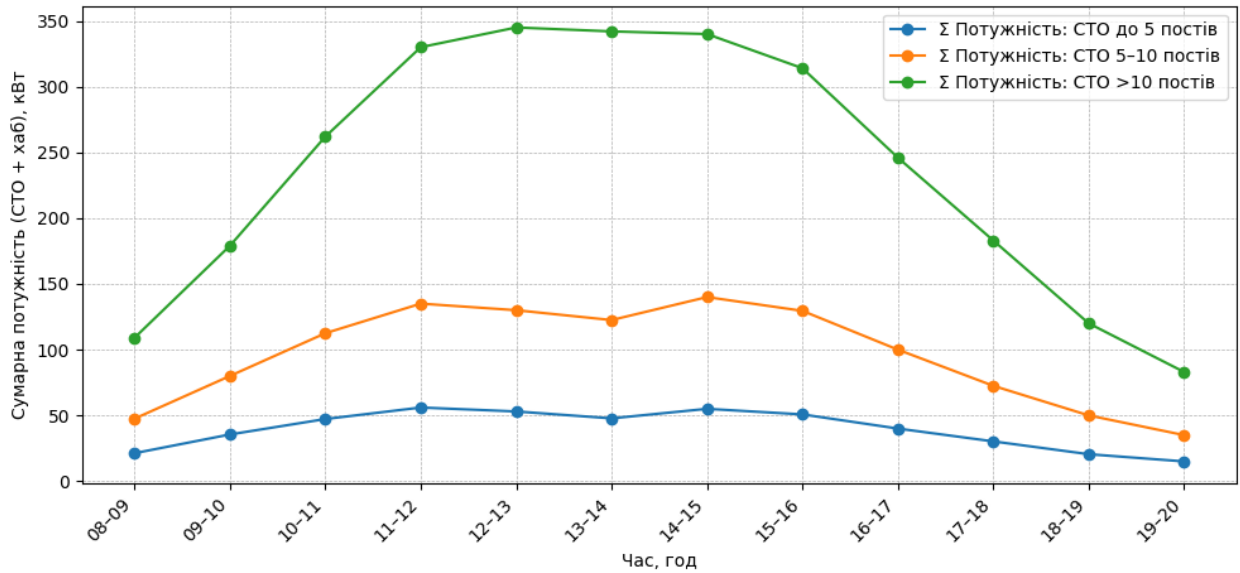


Рисунок 3.2 – Погодинний профіль повної потужності СТО

Оскільки в табл. 3.4 наведено лише навантаження зарядного хабу, для сумарного графіка, на основі припущень, використано типовий погодинний профіль технологічного навантаження СТО з піком у період 11:00–16:00 та прийнятими піковими значеннями $P_{СТО}(t)=25 / 50 / 120$ кВт.

Практично $P_{СТО}(t)$ доцільно подавати як ступінчастий профіль: нижчі значення на початку/кінці зміни та максимальні – у період виконання основних робіт (10:00–16:00). Далі перевіряють умову неперевищення доступної потужності P_{lim} і, за потреби, задають правила керування: пріоритет DC, обмеження сумарної потужності EVSE, часові вікна для повільної AC-зарядки.

Висновки до розділу

Обґрунтовано склад зарядного хабу при СТО як інтегрованого техніко-організаційного комплексу, що включає EVSE (AC/DC), електротехнічну інфраструктуру, засоби обліку та елементи керування зарядними сесіями. Показано, що для всіх типів СТО базовим рішенням є AC-заряджання (Mode 3) як таке, що найбільш відповідає типовій тривалості перебування автомобіля на сервісі, тоді як DC-заряджання (Mode 4) доцільно передбачати переважно

для середніх і великих СТО або за наявності транзитного/пікового попиту через його вплив на вимоги до електропостачання і керованості навантаження.

Виконано розрахунок потужності зарядного хабу для трьох типів СТО з умовними даними м. Луцьк, що дозволило обґрунтувати потребу врахування коефіцієнтів одночасності, узгодження зарядних навантажень із технологічним споживанням СТО та необхідність застосування диспетчеризації/лімітування потужності зі зростанням масштабів об'єкта.

Обґрунтовано раціональне співвідношення повільних, прискорених і швидких зарядних станцій: прискорені АС (11–22 кВт) формують основу хабу, повільні АС застосовуються як допоміжний сегмент, а швидкі DC вводяться для підвищення рівня сервісу в піках та/або для коротких сесій.

Побудовано добові профілі навантаження зарядного хабу та сумарного навантаження, що створює базу для технічних рішень щодо керування потужністю та організаційно-технологічних рішень функціонування хабу в цілому.

4 ОЦІНЮВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ПРОЄКТНИХ РІШЕНЬ ЗАРЯДНОГО ХАБУ

4.1 Методика оцінювання ефективності проєкту зарядного хабу

Оцінювання ефективності проєкту зарядного хабу при СТО доцільно виконувати як комплексну (техніко-експлуатаційну, енергетичну та економічну) оцінку з урахуванням трьох сценаріїв роботи (базовий, піковий, перспективний) та трьох типів СТО за кількістю постів (до 5 постів; 5–10 постів; >10 постів). Такий підхід відповідає рекомендаціям щодо планування та обґрунтування інфраструктури EVSE для майданчиків, де ключовими є пропускна здатність, обмеження електропостачання, керованість навантаження та фінансова життєздатність проєкту [22; 23], а також актуальним трендам розвитку зарядної інфраструктури [1].

Етапи оцінювання (див. також табл. 4.1).

1) Визначення вихідних умов та сценаріїв. Формуються параметри попиту (кількість зарядних сесій на добу, частка DC-сесій, тривалість перебування, для базового/пікового/перспективного сценаріїв, окремо для трьох типів СТО [22; 23].

2) Розрахунок техніко-експлуатаційних показників. Оцінюються пропускна здатність, завантаження портів, імовірність черг у пікові години та рівень обслуговування [22; 23].

3) Розрахунок енергетичних показників. Визначаються добове/місячне споживання електроенергії хабом, пікова потужність, вплив на сумарний графік навантаження «СТО + хаб», а також ефект керування навантаженням (зрізання піків) [1; 22].

4) Економічна оцінка та інвестиційна ефективність. Розраховуються витрати, доходи, фінансові показники та строк окупності, індекс прибутковості. Для української практики доцільно застосовувати підходи державної методології оцінювання інвестиційних проєктів та методичних

рекомендацій щодо цих показників [34; 35], а для суспільних ефектів – підходи аналізу вигід і витрат [36].

Таблиця 4.1 – Основні показники оцінювання ефективності зарядного хабу при СТО

Група показників	Показник	Сутність і спосіб оцінювання
Техніко-експлуатаційні	Пропускна здатність авто/добу Q	$Q = \sum_t n_{\text{сесій}}(t)$ – за погодинним планом/ моделлю); перевірка для базового/пікового сценаріїв
	Коефіцієнт завантаження портів U	$U = \frac{\sum t_{\text{зар}}}{N_{\text{порт}} \cdot T_{\text{роб}}}$, окремо для AC/DC
	Рівень сервісу (SL), %	частка клієнтів, що отримали заряджання без перевищення допустимого часу очікування/черги (за правилами об'єкта)
Енергетичні	Добова енергія $E_{\text{доб}}$, кВт·год	$E_{\text{доб}} = \sum P_{\text{хаб}}(t) \cdot \Delta t$; порівняння сценаріїв
	Пікова потужність P_{max} , кВт	максимум $P_{\Sigma} = P_{\text{хаб}} + P_{\text{СТО}}$; перевірка лімітів
Економічні	Капітальні вкладення (CAPEX)	вартість EVSE, монтажу, щитової/кабелів, проєктування, підключення
	Прямі витрати (OPEX)	електроенергія (з урахуванням ККД), сервіс/ ремонт, зв'язок/CSMS, оренда/ охорона (за потреби)
	Дохід R	$R = E_{\text{сум}} \cdot T_{\text{ел}} + R_{\text{сум}}$ (супутні послуги СТО)
	Рентабельність, термін окупності, тощо	за методичними рекомендаціями [35]
Суспільні/організаційні	Надійність, безпека, відповідність нормам	якісна перевірка відповідності стандартам/ вимогам, ризики експлуатації

В рамках виконання завдань даної роботи розрахункам підлягають лише технічно-експлуатаційні та економічні показники.

Для різних типів СТО пріоритети оцінювання відрізняються:

- СТО до 5 постів: ключові критерії – неперевищення лімітів потужності, достатність 1–2 паралельних сесій, мінімізація капітальних вкладень, прийнятний строк окупності [22; 23].
- СТО 5–10 постів: баланс між пропускною здатністю у піку, керованістю потужності та економічною ефективністю; доцільність 1 DC-станції оцінюється через зменшення черг і додатковий дохід [22; 23].
- СТО >10 постів: пріоритет – пропускна здатність і рівень сервісу в пікові години, диспетчеризація потужності, масштабованість інфраструктури; економічна оцінка виконується для поетапного розвитку (перспективний сценарій) [22; 23].

Проект зарядного хабу вважається ефективним, якщо одночасно виконуються умови:

1. забезпечено прийнятний рівень сервісу у базовому та піковому сценаріях;
2. P_{Σ} не перевищує доступну потужність або перевищення усувається керуванням навантаженням/технічними заходами;
3. фінансові показники відповідають вимогам інвестора [34; 35];
4. рішення є масштабованим для перспективного сценарію без непропорційного зростання витрат [1; 22].

4.2 Оцінка пропускної здатності зарядного хабу та рівня обслуговування клієнтів

Пропускна здатність зарядного хабу при СТО визначається кількістю зарядних сесій, які можуть бути виконані за добу без утворення критичних черг, а рівень обслуговування – здатністю забезпечити заряджання в прийнятний час у базовому та піковому режимах роботи. Для практичного

оцінювання доцільно застосувати поєднання енергетичного підходу (через добову відпущену енергію) та підходу завантаження портів, що рекомендується для планування EVSE на комерційних майданчиках [22; 23].

Розрахункові показники

1. Добова енергія зарядного хабу ($E_{\text{доб}}$):

$$E_{\text{доб}} = \sum P_{\text{хаб}}(t) \cdot \Delta t \quad (4.1)$$

де $P_{\text{хаб}}(t)$ – погодинна потужність хабу, кВт;

Δt – крок (1 год).

2. Оціночна кількість зарядних сесій за добу:

$$N_{\text{сесій}} = \frac{E_{\text{AC}}}{\overline{E}_{\text{AC}}} + \frac{E_{\text{DC}}}{\overline{E}_{\text{DC}}} \quad (4.2)$$

де $E_{\text{AC}}, E_{\text{DC}}$ – добова кількість енергії, відпущеної відповідно через AC і DC;

$\overline{E}_{\text{AC}}, \overline{E}_{\text{DC}}$ — середня кількість енергії однієї сесії заряджання.

3. Коефіцієнт завантаження портів (окремо для AC та DC):

$$U = \frac{\sum t_{\text{зар}}}{N_{\text{порт}} \cdot T_{\text{роб}}}, \quad \sum t_{\text{зар}} = \frac{E}{\bar{P}} \quad (4.3)$$

де $\bar{P}$ – середня (ефективна) потужність заряджання за сесією

$T_{\text{роб}}$ – тривалість роботи хабу.

4. Рівень обслуговування (Service Level, SL) – частка клієнтів, які отримали заряджання з очікуванням не більше заданого нормативу (наприклад, 0–10 хв для DC та 0–20 хв для AC у піковий час). Для проєктної оцінки SL

доцільно пов'язувати з U : при $U \leq 0,7$ рівень сервісу, як правило, є високим; при $U=0,7 \dots 0,85$ – середнім; при $U > 0,85$ зростає ризик черг і потрібні додаткові порти/керування потужністю [22; 23].

Вихідні припущення для розрахунку (умовні дані). Для трьох типів СТО прийнято режим роботи 08:00–20:00 (12 год). Добова кількість енергії $E_{\text{доб}}$ визначена за табл. 3.4 (інтегрування погодинних значень):

- СТО до 5 постів: $E_{\text{доб}}=241$ кВт·год;
- СТО 5–10 постів: $E_{\text{доб}}=692$ кВт·год;
- СТО >10 постів: $E_{\text{доб}}=1743$ кВт·год.

Для оцінки кількості сесій прийнято типові середні значення: $\overline{E}_{AC}=14$ кВт·год/сесію, $\overline{E}_{DC}=30$ кВт·год/сесію; ефективні середні потужності: $\overline{P}_{AC}=16$ кВт, $\overline{P}_{DC50}=40$ кВт, $\overline{P}_{DC100}=80$ кВт (з урахуванням реальних профілів і обмежень авто/станції) [22; 23]. Частку енергії через DC для змішаних хабів прийнято умовно: 30% (середня СТО) та 40% (велика СТО).

Результати оцінювання для трьох типів СТО за базовим сценарієм наведено в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 – Пропускна здатність і рівень обслуговування (базовий сценарій, 12 год роботи)

Тип СТО	Конфігурація	$E_{\text{доб}}$, кВт·год	$N_{\text{сесій}}$, сесій на добу	Завантаження портів U	Оціночний рівень сервісу (SL)
До 5 постів	2×AC 22 кВт	241	~17 (AC)	$U_{AC} \approx 0,63$	Високий (черги малоймовірні)
5–10 постів	4×AC 22 кВт + 1×DC 50 кВт	692	~35 (AC) + ~7 (DC) = ~42	$U_{AC} \approx 0,63$; $U_{DC} \approx 0,43$	Високий; DC “розвантажує” піки
>10 постів	8×AC 22 кВт + 2×DC 100 кВт	1743	~75 (AC) + ~23 (DC) = ~98	$U_{AC} \approx 0,68$; $U_{DC} \approx 0,36$	Високий за умови диспетчеризації

Для пікового сценарію доцільно вводити коефіцієнт піковості (наприклад, +20...30% до кількості одночасних запитів у години 11:00–16:00) і перевіряти два обмеження:

1. чи не наближається U до 0,85–0,9;
2. чи не досягає $P_{\text{хаб}}(t)$ доступної сумарної потужності EVSE та ліміту об'єкта P_{lim} [22; 23].

За даними табл. 3.4 пікові значення $P_{\text{хаб}}(t)$ не перевищують розрахункових потужностей хабів, прийнятих у розділі 3 (тобто є резерв по потужності). Отже:

- для малої СТО достатньо 1–2 паралельних АС-сесій, критичним є контроль сумарної потужності разом із технологічним навантаженням;
- для середньої СТО 1 DC-станція суттєво підвищує рівень сервісу у піках, зменшуючи імовірність очікування для клієнтів із коротким перебуванням;
- для великої СТО високий рівень сервісу забезпечується за рахунок портовості АС та наявності 2 DC, однак обов'язковим є керування навантаженням (пріоритети/ліміти), щоб уникати піків і забезпечити стабільність роботи [23].

4.3 Розрахунок техніко-експлуатаційних показників роботи хабу

Техніко-експлуатаційні показники зарядного хабу характеризують інтенсивність роботи, використання обладнання, пропускну здатність та якість обслуговування. Для проєктної оцінки приймаємо три типи СТО (до 5 постів; 5–10; >10) і базовий добовий профіль навантаження зарядного хабу за табл. 3.4 (12 год роботи, 08:00–20:00).

Прийняті вихідні дані для розрахунків, згідно розділу 3 та п.п. 4.1, 4.2 (базовий сценарій).

Розрахункові формули

1. Середня потужність хабу за зміну:

$$\bar{P} = \frac{E_{\text{доб}}}{\sum t_{\text{зар}}}, \sum t_{\text{зар}} = 12 \text{ год} \quad (4.4)$$

2. Кількість зарядних сесій за добу, згідно (4.2).

3. Середня інтенсивність сесій:

$$\lambda = \frac{N_{\text{сесій}}}{\sum t_{\text{зар}}} \quad (4.5)$$

4. Коефіцієнт використання встановленої потужності (фактор завантаження):

$$K_P = \frac{\bar{P}}{P_{\text{хаб}}} \quad (4.6)$$

5. Коефіцієнт піковості:

$$K_{\text{max}} = \frac{P_{\text{max}}}{\bar{P}} \quad (4.7)$$

де P_{max} – максимальне погодинне навантаження хабу за табл. 3.4.

Результати розрахунків для базового сценарію наведено в таблиці 4.3.

Таблиця 4.3 – Техніко-експлуатаційні показники роботи зарядного хабу

Показник	Одиниця	СТО до 5 постів	СТО 5–10 постів	СТО >10 постів
$\sum t_{\text{зар}}$	год/добу	12	12	12
$E_{\text{доб}}$	кВт·год/добу	241	692	1743
P_{max} (за табл. 3.4)	кВт	31	90	228
$\bar{P}$	кВт	20,1	57,7	145,3
$P_{\text{хаб}}$	кВт	44	138	376
K_P	–	0,46	0,42	0,39
K_{max}	–	1,54	1,56	1,57

Показник	Одиниця	СТО до 5 постів	СТО 5–10 постів	СТО >10 постів
E_{AC}	кВт·год/добу	241	484	1046
E_{DC}	кВт·год/добу	0	208	697
$N_{AC} = E_{AC}/14$	сес/добу	17,2	34,6	74,7
$N_{DC} = E_{DC}/30$	сес/добу	0	6,9	23,2
$N_{сесій}$	сес/добу	17	42	98
λ	сес/год	1,4	3,5	8,2

Згідно результатів, отриманих в таблиці 4.3 встановлено:

- для СТО до 5 постів хаб забезпечує орієнтовно 17 сесій/добу при середній потужності ~ 20 кВт. Коефіцієнт використання встановленої потужності $K_p \approx 0,46$ свідчить про наявність резерву для пікових годин без необхідності підвищення встановленої потужності.
- Для СТО 5–10 постів прогнозна інтенсивність становить ~ 42 сесії/добу, при цьому частка DC ($\approx 30\%$ енергії) зменшує ризик черг для коротких запитів у піку та підвищує гнучкість обслуговування.
- Для СТО >10 постів хаб забезпечує ~ 98 сесій/добу за значного пікового навантаження (до 228 кВт). Значення $K_p \approx 0,39$ підтверджує, що при великій встановленій потужності фактичне середнє завантаження є нижчим, а отже ключовими стають керування піками та оптимізація графіків заряджання.

4.4 Економічне обґрунтування доцільності впровадження зарядного хабу при СТО

Економічна доцільність впровадження зарядного хабу оцінюється через порівняння інвестицій ($CAPEX$, $C_{\text{кап}}$) та щорічного операційного результату (валовий прибуток від заряджання з врахуванням прибутків від супутніх послуг з врахуванням експлуатаційних витрат). Розрахунки наведено для трьох типів СТО (до 5 постів; 5–10; >10) на основі отриманих у розділі 4 показників роботи хабу (енергія/добу та кількість сесій, тощо).

Тарифна модель:

- ціна продажу клієнту $C_{eAC}=24$ грн/кВт·год; $C_{eDC}=30$ грн/кВт·год
- середня закупівельна ціна електроенергії для об'єкта $C_{e.зак}=15,52$ грн/кВт·год;

Ефект від супутніх послуг СТО:

- частка зарядних клієнтів, що купують додаткову послугу: $\alpha = 0,25$;
- середній чек додаткових послуг: 300 / 250 / 220 грн (для малої/середньої/великої СТО);
- вартість додаткових послуг: 35%.

5. Орієнтовні капітальні вкладенні (EVSE + монтаж + щит/кабелі + проєктні роботи):

- до 5 постів ($2 \times AC$ 22 кВт): 650 тис. грн;
- 5–10 постів ($4 \times AC$ 22 кВт + $1 \times DC$ 50 кВт): 2,4 млн грн;
- 10 постів ($8 \times AC$ 22 кВт + $2 \times DC$ 100 кВт): 7,8 млн грн.

6. Прямі витрати (обслуговування, зв'язок/CSMS, дрібні ремонти):

- приймається 3% від капітальних витрат/рік + фіксовані витрати 40/120/300 тис. грн/рік відповідно.

Розрахунок доходів і витрат

1) Валовий прибуток від заряджання:

$$C_{ен} = E_{рік} \cdot \Delta, E_{рік} = E_{доб} \cdot 365 \quad (4.8)$$

2) Супутні послуги:

$$C_{суп} = N_{сесійрік} \cdot \alpha \cdot C_{дод} \cdot m \quad (4.9)$$

де m – маржинальність (0,35).

3) Операційний результат до амортизації й податків:

$$OP \approx (C_{\text{ен}} + C_{\text{суп}}) - C_{\text{прям}} \quad (4.10).$$

4) Строк окупності:

$$T_{\text{ок}} = \frac{C_{\text{кап}}}{OP} \quad (4.11)$$

Результати розрахунків для базового сценарію наведено в таблиці 4.4.

Таблиця 4.4 – Економічні показники зарядного хабу

Показник	До 5 постів	5–10 постів	>10 постів
$E_{\text{рік}}$, кВт·год/рік	87965	252580	636195
$C_{\text{ен}}$, тис. грн/рік	745,8	2596,1	4 453,4
$C_{\text{суп}}$, тис. грн/рік	162,9	335,3	688,5
Разом валовий ефект, тис. грн/рік	778,6	2102,4	6920,8
$C_{\text{прям}}$, тис. грн/рік	59,5	192,0	534,0
OP , тис. грн/рік	849,2	2739,5	7075,4
$C_{\text{кап}}$, тис. грн	650,0	2 400	7 800
Строк окупності $T_{\text{ок}}$, років	0,77	0,88	1,10

Висновки щодо економічної ефективності

1. Для малої СТО (до 5 постів) зарядний хаб (2×АС) є економічно доцільним за рахунок невисокого CAPEX та стабільного попиту «під сервіс»; ключовим фактором ризику є недостатній попит або недостатня маржа за кВт·год.
2. Для середньої СТО (5–10 постів) змішана конфігурація (АС + 1 DC) забезпечує вищий операційний результат і залишається привабливою за окупністю; критичними є керування піками та правильна тарифна політика.

3. Для великої СТО (>10 постів) проєкт потребує найбільших інвестицій, однак за умови збереження завантаження й керованості потужності може бути окупним у прийнятні строки; додатково важливо закладати поетапне розширення.

Висновки до розділу

Обґрунтовано методику комплексного оцінювання ефективності проєкту зарядного хабу при СТО, яка поєднує техніко-експлуатаційні та економічні показники з урахуванням трьох сценаріїв роботи та трьох типів СТО за кількістю постів. Визначено, що ключовими критеріями ефективності є забезпечення прийнятного рівня сервісу, дотримання обмежень електропостачання та досягнення позитивних фінансових результатів з урахуванням можливості масштабування рішення в перспективі.

За результатами оцінювання пропускної здатності та техніко-експлуатаційних показників встановлено, що для базового режиму роботи (12 год/добу) зарядний хаб забезпечує орієнтовно 17 / 42 / 98 зарядних сесій на добу для СТО до 5 постів / 5–10 постів / >10 постів відповідно, при високому рівні сервісу за умови керування навантаженням для середніх і великих об'єктів. Для відповідних типів СТО добове енергоспоживання хабу становить 241 / 692 / 1743 кВт·год, а коефіцієнт використання встановленої потужності знаходиться на рівні 0,46 / 0,42 / 0,39, що свідчить про наявність резерву потужності для пікових годин і підкреслює важливість диспетчеризації навантаження саме в пікові періоди.

Економічні розрахунки підтвердили доцільність впровадження зарядного хабу для всіх трьох типів СТО за умови збереження розрахункового завантаження та маржинальності продажу електроенергії. Оціночний простий строк окупності проєкту становить 0,77 / 0,88 / 1,10 року відповідно для малих, середніх і великих СТО, при цьому для середніх і великих СТО критичними факторами виступають керування піками, правильна тарифна політика та

поетапне розширення конфігурації (масштабованість) у перспективному сценарії.

ВИСНОВКИ

Обґрунтовано актуальність розроблення зарядних хабів при СТО як відповіді на зростання електромобільності та посилення вимог до доступності, сумісності й якості зарядної інфраструктури; доведено, що інтеграція заряджання із сервісними процесами СТО підвищує клієнтську цінність і розширює портфель послуг підприємства.

Встановлено, що проектування зарядного хабу при СТО має базуватися на стандартизованій класифікації режимів заряджання (Mode 1–4), виборі інтерфейсів Type 2/CCS2 та визначенні ключових технічних параметрів EVSE (потужність, кількість портів/одночасних сесій, ККД), що забезпечує технічну сумісність і безпечну експлуатацію.

Показано, що СТО як об'єкт упровадження зарядного хабу доцільно оцінювати як систему комбінованих навантажень, де EVSE виступає додатковим керованим електроспоживачем, а основою вихідних даних є «паспорт об'єкта» (пости, режим роботи, доступна потужність, площі, організація сервісу).

Сформовано сценарії роботи зарядного хабу (базовий, піковий, перспективний) та критерії вибору конфігурації для трьох типів СТО (до 5 постів; 5–10 постів; >10 постів). Визначено, що для малих СТО пріоритетними є обмеження електропостачання й АС-портовість, для середніх – баланс АС/DC та керованість навантаження, для великих – пропускна здатність у піках, диспетчеризація та масштабованість інфраструктури.

Обґрунтовано склад і співвідношення зарядних станцій у хабі: для всіх типів СТО базою є прискорені АС (11–22 кВт), повільні АС застосовуються як допоміжний сегмент, а швидкі DC доцільні переважно для середніх і великих СТО (або за підтвердженого транзитного/корпоративного попиту) за умови керування піками.

На підставі добових графіків навантаження та енергобалансу визначено техніко-експлуатаційні показники: добове енергоспоживання хабу становить

241 / 692 / 1743 кВт·год, пропускна здатність – близько 17 / 42 / 98 сесій/добу для СТО до 5 постів / 5–10 постів / >10 постів, а коефіцієнт використання встановленої потужності – 0,46 / 0,42 / 0,39, що підтверджує наявність резервів у середньому режимі та критичну важливість керування навантаженням у пікові години.

Економічне оцінювання (за базовим сценарієм) показало інвестиційну доцільність проекту за умови збереження розрахункового завантаження та націнці на продаж електроенергії: строк окупності становить 0,77 / 0,88 / 1,10 року для малих, середніх і великих СТО відповідно; для середніх і великих об'єктів ключовими умовами виступають керування піками, коректна тарифна політика та поетапне нарощування конфігурації в перспективному сценарії.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Global EV Outlook 2025. Paris : International Energy Agency, 2025. 303 p. <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2025>
2. Гончар І.А. Статистичний аналіз розвитку ринку електромобілів в Україні та належної інфраструктури для їх експлуатації. Статистика України. 2018. № 2. С. 33–40.
3. Нерубацький В. П., Плахтій О. А., Холод О. І. Аналіз технічних характеристик акумуляторних батарей і систем заряджання електромобілів. Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. 2019. № 6. С. 21–30.
4. Марасін О. В. Програма повоєнного відновлення України як основа розвитку електромобільного транспорту та електромобільної інфраструктури. Науковий вісник Ужгородського університету. Серія: Право. 2024. Вип. 81(1). С. 315–320.
5. Regulation (EU) 2023/1804 of the European Parliament and of the Council of 13 September 2023 on the deployment of alternative fuels infrastructure. Official Journal of the European Union. 2023. L 234. P. 1–47.
6. New car registrations: +1.8% in 2025; battery-electric 17.4% market share / European Automobile Manufacturers' Association. 2026. <https://www.acea.auto/pc-registrations/new-car-registrations-1-8-in-2025-battery-electric-17-4-market-share/.com>
7. New car registrations: -3.9% in January 2026; battery-electric 19.3% market share / European Automobile Manufacturers' Association. 2026. <https://www.acea.auto/pc-registrations/new-car-registrations-3-9-in-january-2026-battery-electric-19-3-market-share/.com>
8. Ринок електромобілів в Україні: результати 2025 року / Institute of Car Market Research. 2026. <https://eauto.org.ua/en/news/975-electric-vehicle-market-in-ukraine-results-of-2025?.com>

9. Satterfield C., Nigro N. A Financial Analysis of Common EV Charging Business Models for Retail Site Hosts. Washington, DC : Atlas Public Policy, 2020. 29 p.
https://static1.squarespace.com/static/5eebd256bac4f23605781ccb/t/60cb95e4cb500b099abcf36/1623954917104/Public-EV-Charging-Business-Models-for-Retail-Site-Hosts_Apr2020.pdf
10. U.S. Department of Energy; National Renewable Energy Laboratory. Plug-In Electric Vehicle Handbook for Public Charging Station Hosts (DOE/GO-102012-3275). Golden, CO : NREL, 2012. 20 p.
<https://afdc.energy.gov/files/pdfs/51227.pdf?>
11. Fernández Aznar, Gregorio & Tenor, Jesús & Cervero, David & García-Martínez, Eduardo & Alonso, Miguel & Almajano, Juan & López, Samuel & Sanz, José & Bludszuweit, Hans. (2018). EV charging infrastructure in a petrol station, lessons learned. 10.1109/INDEL.2018.8637635.
12. ДСТУ EN IEC 61851-1:2021 Система зарядки електричних транспортних засобів дротова. Частина 1. Загальні вимоги (EN IEC 61851-1:2019, IDT; IEC 61851-1:2017, IDT). Київ, 2021.
13. ISO 15118-1:2019 Road vehicles — Vehicle to grid communication interface – Part 1: General information and use-case definition. Geneva : ISO, 2019.
14. IEC 62196-2:2025 Plugs, socket-outlets, vehicle connectors and vehicle inlets – Conductive charging of electric vehicles – Part 2: Dimensional compatibility requirements for AC pin and contact-tube accessories. Geneva : IEC, 2025.
15. CharIN. FAQ: AC charging with Type 2 (IEC 62196-2) and DC charging with Combo 2 (IEC 62196-3); communication based on ISO/IEC 15118. CharIN e.V. (електронний ресурс). <https://www.chademo.com>
16. CHAdeMO Association. CHAdeMO Technology (електронний ресурс). <https://www.chademo.com/technology>
17. Circutor. RAPTION 50 CHA : Quick outdoor charging station : Data sheet (V17115). Circutor, 2026. (електронний ресурс). <https://circutor.com/pdf/pdfdatasheet.php?lang=en&prod=V17115>

18. ABB Inc. Terra 54 UL 50 kW DC fast charging station : Data sheet. ABB, 2021. (електронний ресурс).

https://library.e.abb.com/public/f9161cff0e5d442a95946da57a593dc3/Terra54_UL_Data-Sheet_C.pdf?x-sign=qCzb1fQCGRKDBsYMG858Wp91AAy6XxKlElrNyPtJD8F28JZtszVVbO96G1UvcUG

19. Farnell. Electric Vehicle (EV) Charging Solutions (довідковий матеріал про CCS Combo 2 та IEC 62196-3). 2024. (Електронний ресурс). URL: <https://www.farnell.com/>

20. Про затвердження Правил надання послуг з технічного обслуговування і ремонту автомобільних транспортних засобів : Наказ Мінтрансу України від 11.11.2002 № 792 // База даних «Законодавство України» / Верховна Рада України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/go/z0122-03>

21. Plug-In Electric Vehicle Handbook for Public Charging Station Hosts. Washington, DC : U.S. Department of Energy, Clean Cities, 2012. 20 p. URL: <https://www.cedengineering.com/userfiles/Plug-In%20Electric%20Vehicle%20Handbook-R1.pdf> (date of access: 09.03.2026).

22. Kelly K. et al. Best Practices for Electric Vehicle Supply Equipment (EVSE) Installation and Maintenance. Golden, CO : National Renewable Energy Laboratory, 2019. URL: <https://docs.nrel.gov/docs/fy20osti/74806.pdf> (date of access: 09.03.2026).

23. Plug-In Electric Vehicle Handbook for Workplace Charging Hosts. Washington, DC : U.S. Department of Energy, 2013. URL: https://afdc.energy.gov/files/u/publication/pev_workplace_charging_hosts.pdf

24. Plug-In Electric Vehicle Handbook for Workplace Charging Hosts. Washington, DC : U.S. Department of Energy, 2013. URL: https://afdc.energy.gov/files/u/publication/pev_workplace_charging_hosts.pdf

25. Про затвердження Кодексу систем розподілу : Постанова НКРЕКП від 14.03.2018 № 310 // База даних «Законодавство України» / Верховна Рада України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/go/v0310874-18>

26. Про затвердження Правил роздрібного ринку електричної енергії : Постанова НКРЕКП від 14.03.2018 № 312 // База даних «Законодавство України» / Верховна Рада України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/go/v0312874-18>
27. IEC 60364-7-722:2018 Low-voltage electrical installations — Part 7-722: Requirements for special installations or locations — Supplies for electric vehicles. Geneva : IEC, 2018. URL: <https://webstore.iec.ch/en/publication/29958>
28. CharIN e.V. CharIN Implementation Guide CCS Basic. 2023. URL: <https://www.charin.global/>
29. Open Charge Alliance. Open Charge Point Protocol (OCPP): overview. 2024. URL: <https://openchargealliance.org/protocols/open-charge-point-protocol/>
30. LaMonaca S., Ryan L. The state of play in electric vehicle charging services. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2022. Vol. 154. 111733.
31. National Plug-In Electric Vehicle Infrastructure Analysis. Golden, CO : National Renewable Energy Laboratory, 2017. (NREL). URL: <https://docs.nrel.gov/docs/fy17osti/69031.pdf>
32. Plug-In Electric Load Profiles. Northwest Power and Conservation Council, 2021. URL: https://www.nwcouncil.org/2021powerplan_plug-electric-load-profiles/
33. Neuman C. et al. Workplace Charging Data Collection and Behavior. Golden, CO : National Renewable Energy Laboratory, 2021. URL: <https://docs.nrel.gov/docs/fy22osti/77515.pdf> (дата звернення: 09.03.2026).
34. Про затвердження Порядку та методології проведення оцінки інвестиційного проекту із значними інвестиціями : Постанова Кабінету Міністрів України від 12.03.2024 № 312 // База даних «Законодавство України» / Верховна Рада України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/go/312-2024-%D0%BF>
35. Методичні рекомендації з управління публічними інвестиціями (NPV, IRR, DPP, PI) // Міністерство економіки України (електронний ресурс). URL: <https://mindev.gov.ua/upravlinnia-publichnymy-investytsihamy/metodychni-rekomendatsii>

36. Рекомендації щодо проведення аналізу вигід та витрат в інвестиційних проектах (електронний ресурс). URL: <https://me.gov.ua/download/60c86764-c77f-4c82-920f-b0cf48f51fec/file.pdf>

37. Навчальні та кваліфікаційні роботи : методичні вказівки до оформлення навчальних та кваліфікаційних робіт для здобувачів першого (бакалаврського) та другого (магістерського) рівнів освітньо-професійних програм: «Автомобільний транспорт», «Транспортні технології (на автомобільному транспорті)» галузь знань 27 Транспорт, спеціальностей: 274 Автомобільний транспорт, 275 Транспортні технології (на автомобільному транспорті) денної та заочної форм навчання / уклад. В. М. Придюк, В. А. Кищун, В. М. Дембіцький, В. І. Павлюк. – Луцьк : Луцький НТУ, 2019. – 56 с.

38. ДСТУ 3008:2015. Інформація та документація. Звіти у сфері науки і техніки. Структура та правила оформлювання [Чинний від 2017-07-11]. Вид. офіц. Київ, 2016. 32 с.