

Міністерство освіти і науки України  
Сумський державний університет  
Факультет електроніки та інформаційних технологій  
Кафедра електроенергетики

Робота допущена до захисту

Зав. кафедри

\_\_\_\_\_ І. Л. Лебединський

" \_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 2022 р.

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА БАКАЛАВРА**

на тему:

«Оптимізація режимів зарядки електромобілей для зменшення втрат електроенергії в розподільних електричних мережах»

Спеціальність: 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

Виконав студент гр. ЕТ-81/2-9 \_\_\_\_\_ О. А. Балабко

Керівник, к.т.н., доц. \_\_\_\_\_ І. М. Дяговченко

Нормоконтроль \_\_\_\_\_ М. А. Никифоров

Суми–2022

Сумський державний університет

Факультет ЕЛІТ \_\_\_\_\_ Кафедра електроенергетики \_\_\_\_\_

Спеціальність: 141– Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедри електроенергетики

\_\_\_\_\_ Лебединський І.Л.

“ \_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2022\_ р.

## ЗАВДАННЯ

до виконання кваліфікаційної випускної роботи бакалавра

Балабко Олексій Андрійович

1. Тема роботи : «Оптимізація режимів зарядки електромобілей для зменшення втрат електроенергії в розподільних електричних мережах»

затверджена наказом по університету № \_\_\_\_\_ від  
“ \_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

2. Термін здачі студентом закінченої роботи 18.06.2022 р.

3. Вихідні дані до роботи: параметри споживачів електроенергії (активна потужність, реактивна потужність, географічні координати споживачів), графіки навантажень електромобілей.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які необхідно вирішити)

1 Електромобілі в сучасних електричних мережах;

2 Оптимізація режимів зарядки електромобілей

2.1 Вплив зарядки електромобілей на режими роботи розподільних електричних мереж

2.2 Шляхи оптимізації режимів зарядки електромобілей

2.3 Створення моделі електричної мережі

2.4 Аналіз результатів моделювання

3 Охорона праці

3.1 Техніка безпеки при експлуатації і зарядці електромобілей

3.2 Пожежна безпека електромобілей

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№п/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Електромобілі в сучасних електричних мережах		
2	Оптимізація режимів зарядки електромобілей		
3	Створення моделі електричної мережі в GridLab-D		
4	Основні сценарії дослідження		
5	Аналіз результатів моделювання		
6	Охорона праці		
7	Висновки		
8	Оформлення пояснювальної записки		
9	Здача роботи на перевірку		

Студент \_\_\_\_\_

(підпис)

Керівник роботи \_\_\_\_\_

(підпис)

## РЕФЕРАТ

с. 62, рис. 6, табл. 22

**Бібліографічний опис:** Балабко О. А. Оптимізація режимів зарядки електромобілей для зменшення втрат електроенергії в розподільних електричних мережах: робота на здобуття кваліфікаційного ступеня бакалавра; спеціальність 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка напрям: 6.050701 – електротехніка та електротехнології О. А. Балабко; керівник І.М. Дяговченко. – Суми: СумДУ, 2022. – 62 с.

**Ключові слова:** електромобіль, зарядна станція, тягова батарея, електродвигун, графік заряджання, потужність зарядки, струм заряджання, режим заряджання, ємність акумулятора, електрична мережа.

**Keywords:** electric car, charging station, traction battery, electric motor, charging schedule, charging power, charging current, charging mode, battery capacity, electrical network.

**Короткий огляд (реферат):** В роботі розглянута історія розвитку електромобілів та їх сучасний стан в Україні та світі . Розглянуті особливості заряджання електрокарів та їх головні компоненти. Вказано вплив зарядки електромобілей на режими роботи розподільних мереж та шляхи оптимізації режимів зарядки. Була створена електрична мережа зі споживачами та промодельована з різними сценаріями заряджання електромобілів. На основі отриманих даних втрат потужності, відхилення напруги та спожитої потужності, зроблено висновок та вказано оптимальний сценарій заряджання електромобілів.

## ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

BEV (Battery Electrical Vehicle) – акумуляторні електромобілі;

PHEV – гібридні електромобілі поєднують живлення від акумулятора з двигунами внутрішнього згорання;

ДВЗ – двигун внутрішнього згорання;

EVSE – розумний зарядний пристрій;

АС – змінний струм;

DC – постійним струм;

АБ – акумуляторна батарея;

ЕМ – електромобіль;

СЗЕ – системи зберігання електроенергії;

ЕМС електромагнітна сумісність;

ЗП – зарядний пристрій;

СЗС – сонячні зарядні станції;

ЕМЗ – електромагнітні завади;

ЯН – якість напруги;

НН – низька напруга;

СКГС – сумарний коефіцієнт гармонічних спотворень;

VRLA – рекомбінантний газосвинцевий акумулятор

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
1 ЕЛЕКТРОМОБІЛІ В СУЧАСНИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖАХ .....	8
1.1 Історія розвитку електромобілей: шлях від диковинки до звичного засобу пересування.....	8
1.2 Доля електромобільного транспорту в Україні та світі .....	11
1.3 Особливості зарядки електромобілей .....	15
1.4 Головні компоненти електромобіля .....	24
2 ОПТИМІЗАЦІЯ РЕЖИМІВ ЗАРЯДКИ ЕЛЕКТРОМОБІЛЕЙ .....	27
2.1 Вплив зарядки електромобілей на режими роботи розподільних електричних мереж .....	27
2.2 Шляхи оптимізації режимів зарядки електромобілей.....	30
2.3 Створення моделі електричної мережі в GridLab-D .....	33
2.3.1 Етапи створення моделі електричної мережі в GridLab-D .....	34
2.3.2 Чисельні методи розрахунку поточкорозподілу. Метод Ньютона .....	44
2.3.3 Основні сценарії дослідження .....	47
2.4 Аналіз результатів моделювання.....	52
3 ОХОРОНА ПРАЦІ .....	54
3.1 Техніка безпеки при експлуатації і зарядці електромобілей.....	54
3.2 Пожежна безпека електромобілей.....	58
ВИСНОВОК.....	60
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ .....	61

Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата
Розробив		Балабко О. А.		
Перевірів		Дяговченко І. М.		
Н. Контр.				
Затв.				

БР 3.8.141.031 ЕТ-81/2-9 ПЗ

Оптимізація режимів зарядки електромобілей для зменшення втрат електроенергії в розподільних електричних мережах

Літера	Лист	Листів
у	6	62
СумДУ ЕТ-81/2-9		



# 1 ЕЛЕКТРОМОБІЛІ В СУЧАСНИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖАХ

## 1.1 Історія розвитку електромобілей: шлях від диковинки до звичного засобу пересування

Електромобіль з'явився раніше, ніж двигун внутрішнього згорання. На Першій міжнародній виставці електрики 1881 у Парижі презентували перший триколісний електромобіль Густава Трове, який розвивав швидкість 12 км/год при дальності ходу 14—26 км. Вперше у Німеччині у 1888 був розроблений електромобіль Флокена. Першим у США електричним електромобілем можна вважати електричний чотириколісний екіпаж компанії Morrison Electric, створений у 1891 р. Екіпаж було оснащено електричним двигуном Siemens потужністю 4 кінських сили, з яким він міг розвивати швидкість до 32 км/год (20 миль на годину) і був розрахований на 6—12 пасажирів. Електричні батареї забезпечували запас ходу до 80 км (50 миль).

Керування автомобілем здійснювалося за допомогою керма із запатентованим механізмом рейкової передачі. За всю історію компанією було виготовлено 11 таких екіпажів. Електромобіль La Jamais Contente 29 квітня або 1 травня 1899 року встановив рекорд швидкості на суші — першим у світі подолавши бар'єр у 100 км/год, він досяг 105,882 км/год. Згодом відомий американський конструктор електромобілів Волтер Бейкер досяг швидкості 130 км/г. Електромобіль «Борланд Електрик» проїхав від Чикаго до Мілуокі (167 км) на одній зарядці, а наступного дня (після перезарядження) електромобіль повернувся до Чикаго своїм ходом. При цьому середня швидкість склала 55 км/год. 1898 року славетний конструктор Фердинанд Порше сконструював передньоприводний електромобіль «System Lohner-Porsche», який мав два мотор-колеса. Через два роки він представив

БР 3.8.141.031 ЕТ-81/2-9 ПЗ

Зм. Лист № докум Підпис Дата

Розробив Балабко О. А.

Перевірив Дяговченко І.

Н. Контр.

Затвердив

Оптимізація режимів зарядки  
електромобілей для зменшення  
втрат електроенергії в розподільних  
електричних мережах

Літера Лист Листів

у 8 62

СумДУ ЕТ-81/2-9









Навпаки, в Норвегії 65% із 176276 нових автомобілів, проданих у 2021 році, були повністю електричними. Норвегія, країна з населенням 5 мільйонів, є європейським лідером із впровадження електромобілів. Популярний Nissan Leaf, створений понад 10 років тому, продовжував домінувати на українському ринку. Кожен четвертий електромобіль, зареєстрований у країні 2021 року, був Leaf. Іншими популярними автомобілями українців у 2021 році були Tesla Model 3 (827 зареєстрованих автомобілів) та Chevrolet Volt (762 зареєстровані автомобілі). На три вищезгадані моделі припадає майже 55% ринку електромобілів країни.

Суттєве зростання попиту на електричні автомобілі відбулося у 2018 році, коли з 1 січня був скасований ПДВ на імпорт таких транспортних засобів. Ще раніше було скасоване мито 10%. Проте одна з причин відмови від придбання електрокарів, це відсутність інфраструктури [8].

Уряд України прийняв закон про бюджет на 2019 рік, який продовжив діючі податкові пільги 2018 року для автомобілів із підключенням до 2023 року. Як нові, так і вживані BEV (без розширювачів запасу бензину) можна імпортувати без ПДВ, імпортного мита та акцизний збір. Відповідно до закону, нові автомобілі, як, наприклад, Tesla Model 3, можна придбати за нижчою ціною, ніж у будь-якій іншій країні Європи. Це стимулювало попит у 2018 році, і ця тенденція, тривала до 2019 року. У листопаді 2018 року імпорт електромобілів становив майже 250% від рівня листопада 2017 року.

Використання електромобілів у різних країнах розрізняється, оскільки впровадження електромобілів із підзарядкою від мережі залежить від споживчого попиту, ринкових цін, наявності інфраструктури для зарядки та державної політики, наприклад стимули до купівлі. Електромобілі зазвичай поділяються на повністю електричні або акумуляторні електромобілі (BEV), які працюють лише від акумуляторних батарей, і гібриди (PHEV), які поєднують живлення від акумулятора з двигунами внутрішнього згорання. Популярність електромобілів стрімко зростає завдяки державним субсидіям, їхньому збільшеному запасу ходу та меншій вартості акумуляторів,















Таблиця 1.1 – Таблиця часу та швидкості зарядження електромобілів у різних режимах зарядження.

Режими заряду	Потужність заряду	Час	Швидкість
Режим 2	до 2 кВт (однофазна мережа AC)	12 – 14 годин	Повільно
Режим 3	3кВт (однофазна мережа AC)	6 – 8 годин	Стандартний заряд
Режим 3	7кВт (одно/три – фазна мережа AC)	3 – 4 години	Стандартний заряд
Режим 3	11кВт (одно/три – фазна мережа AC)	2 – 3 години	Прискорений заряд
Режим 3	22кВт (одно/три – фазна мережа AC)	1 – 2 години	Прискорений заряд
Режим 4	50кВт (зарядка постійним струмом DC)	20 – 30 хвилин	Швидкий заряд

Режим заряду 2 електротягової батареї електромобіля по суті такий же, як і в першому випадку, але з використанням зарядного кабелю зі спеціальним блоком захисту, який розташовується на самому кабелі. Такі кабелі з блоком захисту розраховані на напругу мережі 220/230V~ для Європи та 110/120V~ для США, і якщо купити електромобіль у США з американським кабелем для зарядки, то треба змінити його на європейський, що підійде для наших мереж.

Режим 3 – зарядка змінним струмом підвищеної потужності. Це найпоширеніший режим зарядки, що застосовується на паркінгах, заправних станціях та в інших громадських місцях. Такий тип зарядки можливий завдяки спеціальній зарядній станції, здатній видавати струм змінної напруги великої потужності, що неможливо у звичайних домашніх умовах, де розетки обмежені своєю здатністю в 16 Ампер (3,5 кВт). Такі спеціальні зарядні станції здатні давати вихідний струм від 7,2 до 43 кВт в залежності від підключення – однофазного або трифазного. Час повноцінного заряду батареї в такому режимі складає від 0,5 до 4 годин. Як правило, підзарядити свій електромобіль від такого зарядного пристрою можна безкоштовно, звернувшись до адміністрації закладу, на території якого













Найчастіше застосовують менш дорогі у виробництві електродвигуни з індукційними котушками замість магнітів, що теж працюють від змінного струму. Вони можуть бути синхронними (наприклад, у Renault Zoe), але частіше обертання ротора відстає від обертання магнітного поля, котре створюється котушками статора. Через це такі двигуни називають

асинхронними. У них нижчий ККД, зате вони простіші в управлінні. Такими двигунами оснащується, наприклад, Audi e-tron.

Всі двигуни, котрі застосовуються в електромобілях, розвивають дуже високий крутний момент, буквально з нульових оборотів, можуть розкручуватися до дуже високих швидкостей та змінювати напрямок обертання. Тому електромобілям не потрібна складна багатошвидкісна коробка передач та важка трансмісія, як автомобілям з ДВЗ. Досить простого та надійного редуктора з пониженням (зазвичай у вигляді планетарної передачі), підключеного безпосередньо до двигуна. На потужних та швидких машинах його може доповнювати двоступенева коробка, що дозволяє поєднати потужну тягу на низах з високою максимальною швидкістю.

Тягова батарея найдорожчий вузол електромобіля. Сьогодні вона являє собою набір елементарних акумуляторів (осередків), який управляється цілою системою з мікроконтролерів. Батареї розрізняються за ємністю, робочою напругою (на EV – від 350 до 800 Вольт), а також формою, адаптованою під компонування конкретної моделі електромобіля. Відрізняються вони й осередками, при виготовленні яких можуть використовуватись різні матеріали. Наприклад, нікель-металгідридні акумулятори вже вважаються застарілими, а найпопулярнішими визнані літієві осередки кількох різновидів. У перспективі мають з'явитись батареї нового покоління, які сьогодні розробляються десь у надрах електротехнічних компаній.

Інвертор пристрій, який є сполучною ланкою між електродвигуном та батареєю. З назви випливає, що головне призначення цього блоку –

перетворення струму, адже батарея видає та приймає постійний струм, а двигун працює на змінному. Однак повноваження цієї «коробочки» набагато ширші: вона ж за командою від педаль електромобіля керує поздовжнім прискоренням або уповільненням електромобіля, регулюючи потоки енергії від батареї до двигуна і назад (при рекуперації на гальмуванні).

Здавалося б, за наявності такого потужного джерела енергії електромобілю вже не потрібен звичайний 12-вольтовий акумулятор, але він є.

Стандартна та безпечна в техобслуговуванні низьковольтна підсистема потрібна для функціонування бортової електроніки та світлотехніки, електропідсилювачів, компресорів та інших приводів. Все як у звичайного авто.

Електричний двигун набагато менше гріється, і не потребує потужного охолодження. Однак у будь-якого BEV все одно можна зустріти і радіатор, і систему теплових магістралей, які потрібні для тягової батареї. Адже найефективніше вона працює лише в обмеженому діапазоні температур, а при великому навантаженні, частих перехідних циклах розряд/заряд під час руху або при швидкісному зарядженні сильними струмами – сильно гріється. Терморегулювання може знадобитися інвертору, через який протікають струми дуже високої сили. Водночас система охолодження, що працює в режимі «теплого насоса» (як інверторний кондиціонер у приміщеннях), здатна з мінімальними енерговитратами забезпечити комфорт у салоні.

Процес заряджання електромобіля насправді набагато складніший, ніж може здатися з боку, тому для його контролю в машинах є окремий електронний блок. Адже електромобіль має вміти приймати заряд із різних джерел — від побутової розетки до спеціальних надпотужних терміналів, які, у свою чергу, теж бувають кількох форматів — європейських, американських, японських та китайських. Єдиного світового стандарту для зарядних станцій поки що, на жаль, не вироблено. Одні заряджають батареї змінним струмом, інші, практично минаючи інвертор, більш потужним постійним. Сильно

залежить від способу заряду й час, який потрібний для поповнення запасів енергії.

Теоретично, BEV міг би обійтися без звичних гальмівних механізмів, уповільнюючись за рахунок силового опору, який створює електромотор в режимі генератора. Але на практиці всі електромобілі мають гальмівні колодки, диски, гідромагістралі з гальмівною рідиною, тощо. Зате, оскільки навантаження на них нижче, гальмівні механізми електромобіля зношуються набагато повільніше.

										Лист
										27
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата	БР 3.8.141.031 ЕТ-81/2-9 ПЗ					

## 2 ОПТИМІЗАЦІЯ РЕЖИМІВ ЗАРЯДКИ ЕЛЕКТРОМОБІЛЕЙ

### 2.1 Вплив зарядки електромобілей на режими роботи розподільних електричних мереж

Основною перевагою взаємодії зарядних пристроїв і станцій з електричною мережею є можливість вибору оптимального проміжку часу для зарядження АБ електромобілів з точки зору підвищення ефективності використання електромережевої інфраструктури, а саме, в той час, коли має місце значний спад споживання електроенергії (під час нічного провалу графіка навантаження). Відбір електроенергії від мережі для зарядження АБ електромобілів у нічні години сприяє вирівнюванню графіка навантаження мережі, що дозволяє підвищити ефективність функціонування енергосистеми окремого регіону. На рис. 2.1 показано середньостатистичні графіки типового добового енергоспоживання електроенергії у великому мегаполісі без урахування зарядження ЕМ (суцільна крива) та при масовому зарядженні тягових АБ, наприклад, 112,5 тисяч електромобілів із бортовою АБ ємністю у середньому 20 кВт\*год – під час провалу навантаження у нічні години (штрихові «гіпотетичні» криві). В цьому випадку споживання електроенергії при зарядженні ЕМ у нічні години складатиме приблизно 2250 МВт\*год (заштриховані області на рис. 2.1) [11].

На рис. 2.2 показано типовий добовий (для робочих та вихідних днів) графік енергоспоживання електроенергії ПАТ «Київенерго», з якого видно, що в робочі дні, використовуючи ненавантажені часові інтервали (протягом нічних 6–8 годин), в середньому можна заряджати близько 130–140 тисяч зазначених ЕМ. Очевидно, що у вихідні дні можливості зарядження автономного електротранспорту значно вищі.

БР 3.8.141.031 ЕТ-81/2-9 ПЗ

Зм. Лист № докум Підпис Дата

Розробив Балабко О.А.

Перевірів Дяговченко І. М.

Н. Контр.

Затв.

Оптимізація режимів зарядки електромобілей для зменшення втрат електроенергії в розподільних електричних мережах

Літера Лист Листів

у 27 62

СумДУ ЕТ-81/2-9

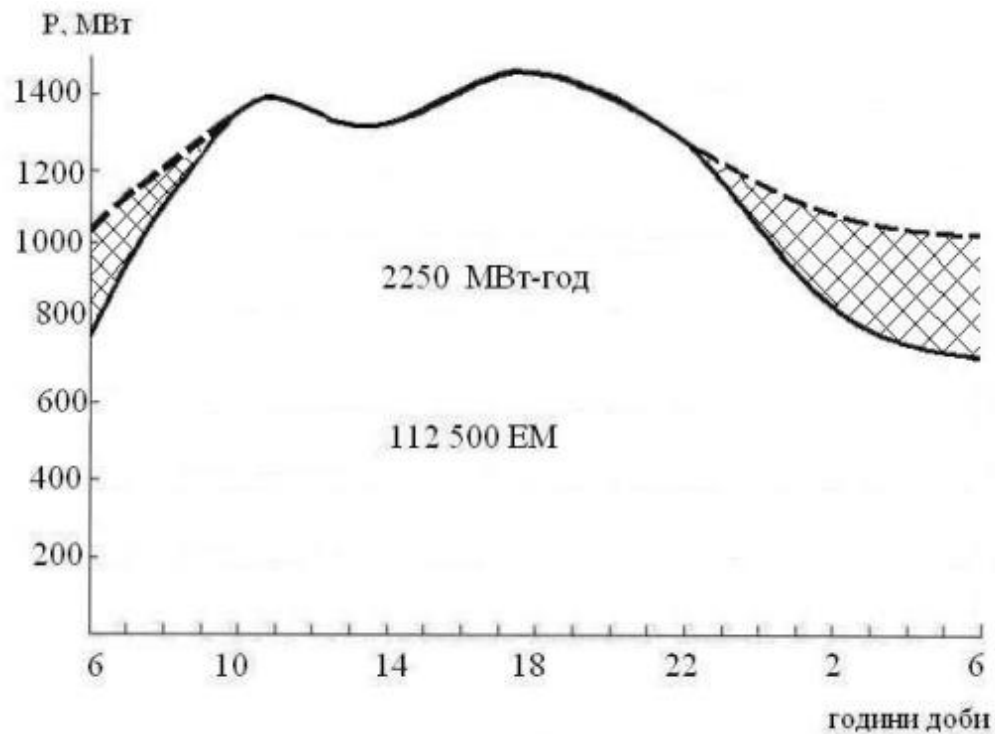


Рисунок 2.1 – Середньостатистичні графіки типового добового енергоспоживання електроенергії у великому мегаполісі без урахування зарядження ЕМ

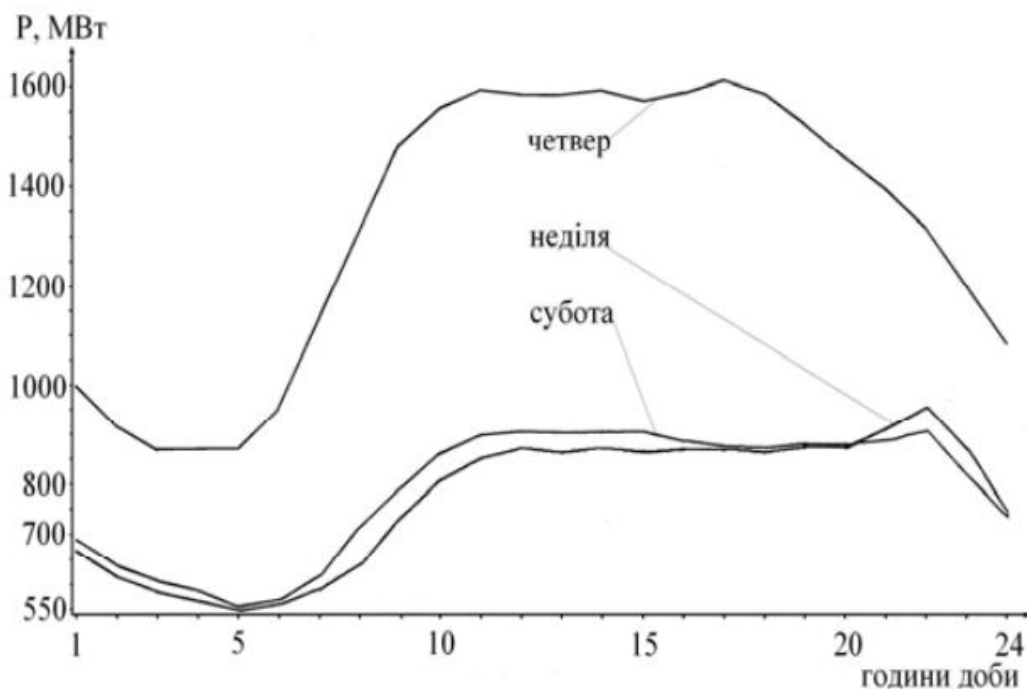


Рисунок 2.2 – Типовий добовий (для робочих та вихідних днів) графік енергоспоживання електроенергії

Для енергокомпаній створення та використання інфраструктури електротранспорту не тільки сприяє вирівнюванню графіків навантаження енергосистеми, яка стає більш керованою та стійкою, а також забезпечує істотне збільшення корисного відпуску електроенергії та, як наслідок, зростання відповідних доходів.

Крім того, при масовому користуванні електромобільним транспортом ефективність енергосистеми істотно підвищиться внаслідок можливості короткочасного використання накопиченої енергії, причому СЗЕ (системи зберігання електроенергії) застосовується для побудови енергозберігаючих систем («ESS» – «Energy Storage System») на базі зазначених енергоємних накопичувачів енергії та «двонаправлених» перетворювачів, що забезпечує стабільну роботу енергосистеми, зокрема з великим обсягом генерації від відновлюваних джерел енергії.

Слід відзначити, що важливою проблемою в низьковольтних розподільних мережах, яку необхідно вирішувати, є забезпечення ЕМС (електромагнітна сумісність) споживачів мережі під час зарядження АБ електромобілів від ЗП (зарядні пристрої) або СЗС (сонячні зарядні станції), коли в електромережу вноситься підвищений рівень емісії завад, причому забезпечення ЕМС потребує вирішення двох основних взаємопов'язаних науково-технічних завдань. Першим з них є забезпечення нормованих рівнів емісії кондуктивних електромагнітних завад (ЕМЗ) в електричну мережу. В результаті характеристики напруги живлення погіршуються, тобто значення показників якості напруги (ЯН) у мережі перестають відповідати необхідним нормам, які визначаються відповідними національними та міжнародними стандартами з ЕМС. Друге завдання зазначеної проблеми є по суті зворотнім по відношенню до першого і полягає у зменшенні негативного впливу погіршення ЯН в електричній мережі НН на нормальне функціонування ЗП і СЗС у процесі зарядження тягових АБ. У даному випадку необхідно забезпечити відповідність вимогам стандартів по «несприйнятливості» ЗП і СЗС до ЕМЗ у мережі НН, що визначає рівень електромагнітних збурень, який

Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата



Енергія, необхідна для зарядки, рівна кількості енергії, що використана в попередній подорожі. Зарядка вдома проводиться щоденно, як тільки машина повертається з поїздки то одразу становиться на заряджання.

2) Зарядка поза піковим навантаженням (OP) (рис.2.3, синій графік): електромобілі заряджаються виключно на домашній базі з відстрочкою зарядки до півночі, там, де дозволяє часове вікно «на під'їзній доріжці».

3) Зарядка в непікові періоди плюс від автомобіля до дому (OPV2H) (рис.2.3, зелений графік): електромобілі перезаряджаються виключно на своїй домашній базі, щоденно, зарядка відкладена до півночі, якщо дозволяє часове вікно «в дорозі». Електромобілі розряджають енергію до дому інколи між 18:00 і 12 годин дня, з урахуванням обмежень, накладених позашляховим рухом, активністю, ємністю акумулятора і вимогам до зарядки.

Інші допущення, що використовуються для розрахунків зарядки і розрядки електромобіля, наступні:

- ефективність електромобіля (включаючи ефективність зарядки) складає 0,18 кВт\*год/км;
- потужність зарядки 3,6 кВт;
- потужність розрядки 1,8 кВт (вважається, що це менше зарядної потужності, що забезпечує більш довготривалий час розрядки і мінімальне пошкодження акумулятора);
- енергія, необхідна для зарядки, основана на всіх попередніх поїздках;
- мінімальний рівень скидання по сценаріям складає 40 % ємності акумулятора;
- ємність акумуляторів BEV складає 25 кВт\*год;

Почасові профілі зарядки складені для кожного дня року, для кожного блоку просторової сітки. Дані профілів заряджання приведені в таблиці 2.1 для трьох режимів зарядки в будні та у вихідні дні. Для вихідних днів потужність зарядки або розрядки кожного режиму, на кожну годину, знижуємо на 10%. Графіки профілів зарядки в будні дні для всіх трьох зарядних режимів зображено на рис. 2.3.



Таблиця 2.1 – Профілі навантаження зарядки електромобілей

Т, год	Червоний графік заряджання		Синій графік заряджання		Зелений графік заряджання	
	будні	вихідні	будні	вихідні	будні	вихідні
	Р, кВт	Р, кВт	Р, кВт	Р, кВт	Р, кВт	Р, кВт
1:00:00	0,15	0,135	0,55	0,495	0,45	0,405
2:00:00	0,11	0,099	0,85	0,765	1	0,9
3:00:00	0,05	0,045	0,8	0,72	1,38	1,242
4:00:00	0,02	0,018	0,6	0,54	1,4	1,26
5:00:00	0,01	0,009	0,35	0,315	1,15	1,035
6:00:00	0,01	0,009	0,15	0,135	0,7	0,63
7:00:00	0,02	0,018	0,05	0,045	0,35	0,315
8:00:00	0,05	0,045	0,02	0,018	0,1	0,09
9:00:00	0,08	0,072	0,02	0,018	0,03	0,027
10:00:00	0,1	0,099	0,03	0,027	0,03	0,027
11:00:00	0,1	0,09	0,05	0,045	0,04	0,036
12:00:00	0,12	0,108	0,08	0,072	0,07	0,063
13:00:00	0,18	0,162	0,1	0,09	0,1	0,09
14:00:00	0,29	0,261	0,08	0,072	0,08	0,072
15:00:00	0,38	0,342	0,05	0,045	0,05	0,045
16:00:00	0,43	0,387	0,04	0,036	0,04	0,036
17:00:00	0,5	0,45	0,03	0,027	0	0
18:00:00	0,57	0,513	0,03	0,027	-0,04	-0,036
19:00:00	0,63	0,567	0,05	0,045	-0,13	-0,117
20:00:00	0,59	0,531	0,06	0,054	-0,25	-0,225
21:00:00	0,45	0,405	0,1	0,09	-0,4	-0,36
22:00:00	0,3	0,27	0,19	0,171	-0,44	-0,396
23:00:00	0,2	0,18	0,35	0,315	-0,35	-0,315
0:00:00	0,19	0,171	0,55	0,495	-0,05	-0,045

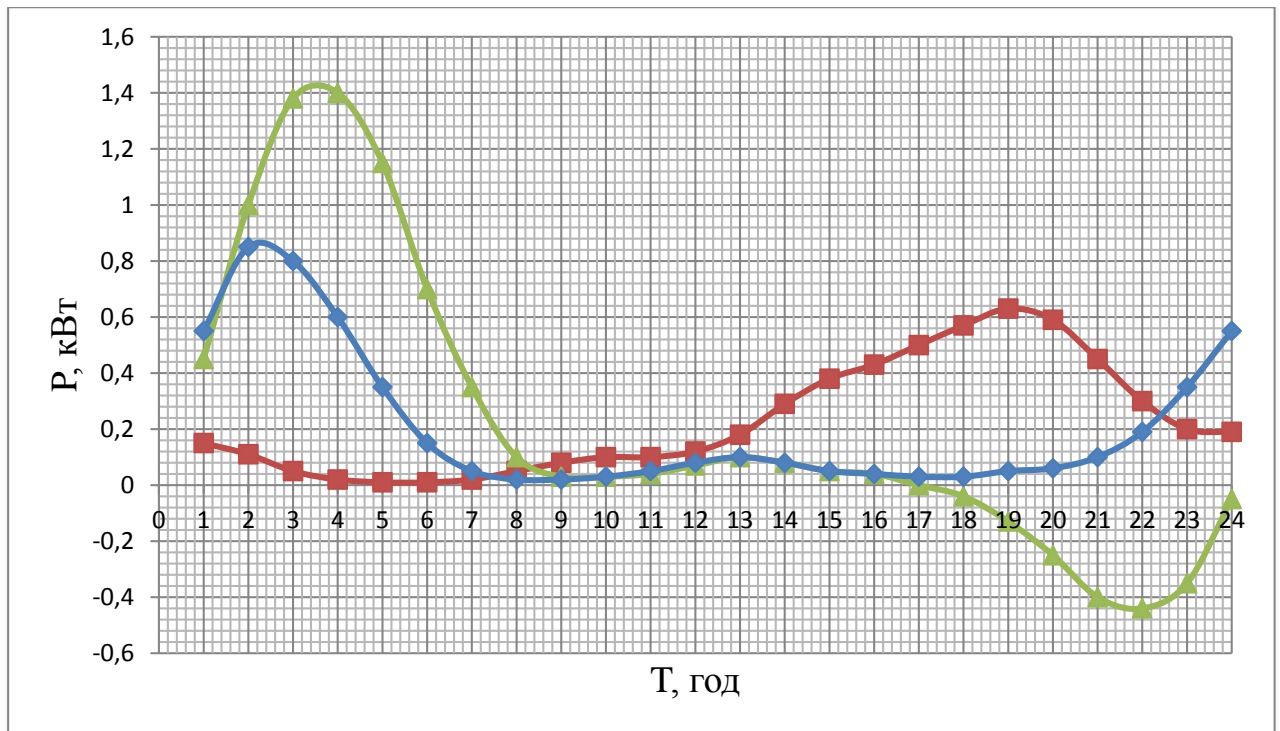


Рисунок 2.3 – Графіки профілів навантаження зарядки електромобілей для трьох режимів: червоний графік – зарядка по вимозі (Dem); синій графік – зарядка поза піковим навантаженням (OP); зелений графік – зарядка в непікові періоди плюс від автомобіля до дому (OPV2H)

### 2.3 Створення моделі електричної мережі в GridLab-D

GridLAB-D — це новий інструмент моделювання і аналізу систем розподілу електроенергії, котрий надає цінну інформацію користувача, проектуючим і експлуатуючим системи розподілу, а також комунальним підприємствам, бажаючим скористатися перевагами нових енергетичних технологій. Він включає в себе самі передові методи моделювання з високопродуктивними алгоритмами для забезпечення найкращого моделювання кінцевого використання. GridLAB-D поєднується з моделями автоматизації розподілу і інструментами інтеграції програмного забезпечення для користувачів багатьох інструментів аналізу енергосистем [7].

GridLAB-D — це гнучке середовище моделювання, яке можна інтегрувати з різними сторонніми інструментами управління і аналізу даних. В

основі GridLAB-D лежить удосконалений алгоритм, який одночасно координує стан мільйонів незалежних пристроїв, кожний з яких описується декількома диференційними рівняннями. Переваги цього алгоритму перед традиційними симуляторами на основі кінцевих різниць: 1) він набагато точніше опрацьовує нестандартні ситуації; 2) він працює з дуже різними масштабами часу, від долі секунд до багатьох років; 3) дуже легко інтегрується з новими модулями і сторонніми системами.

GridLAB-D включає в себе широкий набір інструментів для створення і управління дослідженнями і аналізу результатів, в тому числі:

- інструменти моделювання на основі агентів і інформації, котрі дозволяють користувачам створювати докладні моделі того, як нові технології кінцевого використання, розподілені енергетичні ресурси (DER), автоматизація розподілу і роздрібні ринки взаємодіють і розвиваються з плином часу.
- інструменти для створення і перевірки тарифних структур, вивчення реакції споживачів і перевірки взаємодії і залежності програм від інших технологій і оптових ринків.
- інтерфейси до стандартних галузевих інструментів енергосистем і аналітичним системам.
- обширні інструменти збору даних, що дозволяють проводити широкий спектр аналізів.

### 2.3.1 Етапи створення моделі електричної мережі в GridLab-D

Для створення моделі електричної мережі в GridLab-D ми опираємося на графічне зображення цієї мережі (рис.2.4), яку обрали, для розуміння та зручного кодування елементів.

Електрична мережа (рис.2.4) складається з 86-х споживачів, 45-х вузлів, кабельних та повітряних ліній електропередач, 11-х вимикачів, 4-х регуляторів напруги, одного силового трансформатора, фідера від якого йде живлення.

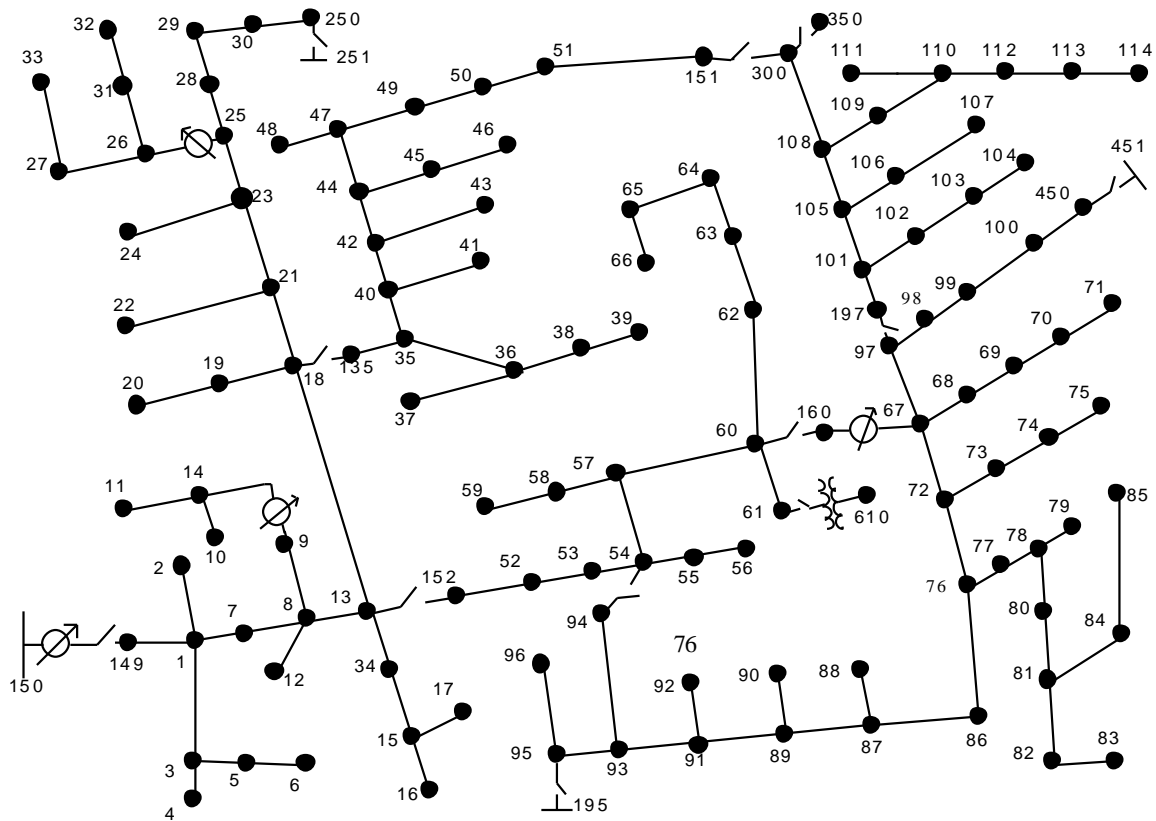


Рисунок 2.4 – Електрична мережа [13]

Робимо кодування в текстовому документі, по типу блокнота. Прописуємо часовий пояс та дату і час протягом яких буде відбуватися моделювання. Додаємо адреси допоміжних файлів, наприклад, таких як графіки зарядки електромобілів та інші. Далі вносимо для повітряних та кабельних ліній типи провідників, назву та їх характеристики: радіус провідника в футах, питомий опір в Ом/милю при 60 Гц та 50°C, діаметр в дюймах, зазначаємо допустимий струм в Амперах. Програма GridLab-D розуміє тільки англійську систему мір. В мережі присутня транспозиція проводів, є 12 конфігурацій і для кожної прописуємо відстані між фазами та нульовим проводом. Далі присвоюємо для кожної конфігурації типи провідників на кожен фазу та нульовий провід (табл.2.2 і 2.3). Даємо ім'я кабельним та повітряним лініям і вводимо такі параметри: від якого до якого вузла або споживача вони йдуть, їхня довжина та конфігурація (табл.2.4). Для кожного вузла вказуємо номінальну напругу.

Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата

Призначаємо для кожного споживача живлячі фази, потужність навантаження (табл.2.5) і номінальну напругу. Далі до кожного споживача додаємо один електромобіль на кожні 10 кВт номінальної потужності. Прописуємо потужність на кожній фазі яка передається в мережу від енергопостачальної компанії. Вказуємо стан вимикачів в нормальному режимі (табл.2.6). До деяких 4-х споживачів додаємо конденсатори з метою компенсації реактивної потужності (табл.2.7).

Таблиця 2.2 – Конфігурації повітряних ліній [12]

Конфігурація	Фазування	Фазний провідник	Нейтральний провідник
		ACSR	ACSR
1	ABCN	336,400 26/7	4/0 6/1
2	CABN	336,400 26/7	4/0 6/1
3	BCAN	336,400 26/7	4/0 6/1
4	CBAN	336,400 26/7	4/0 6/1
5	BACN	336,400 26/7	4/0 6/1
6	ACBN	336,400 26/7	4/0 6/1
7	ACN	336,400 26/7	4/0 6/1
8	ABN	336,400 26/7	4/0 6/1
9	AN	1/0	1/0
10	BN	1/0	1/0
11	CN	1/0	1/0

Таблиця 2.3 – Конфігурації кабельних ліній [12]

Конфігурація	Фазування	Кабель
12	ABC	1/0 AA, CN

Таблиця 2.4 – Довжина ліній та їх конфігурація

Вузол А	Вузол Б	Довжина, фути	Конфіг.	Вузол А	Вузол Б	Довжина, фути	Конфіг.
1	2	175	10	25	28	200	2
1	3	250	11	26	27	275	7
1	7	300	1	26	31	225	11
3	4	200	11	27	33	500	9
3	5	325	11	28	29	300	2
5	6	250	11	29	30	350	2
7	8	200	1	30	250	200	2
8	12	225	10	31	32	300	11
8	9	225	9	34	15	100	11
8	13	300	1	35	36	650	8
9	14	425	9	35	40	250	1
13	34	150	11	36	37	300	9
13	18	825	2	36	38	250	10
14	11	250	9	38	39	325	10
14	10	250	9	40	41	325	11
15	16	375	11	40	42	250	1
15	17	350	11	42	43	500	10
18	19	250	9	42	44	200	1
18	21	300	2	44	45	200	9
19	20	325	9	44	47	250	1
21	22	525	10	45	46	300	9
21	23	250	2	47	48	150	4
23	24	550	11	47	49	250	4
23	25	275	2	49	50	250	4
25	26	350	7	50	51	250	4

Продовження таблиці 2.4

Вузол А	Вузол Б	Довжина, фути	Конфіг.	Вузол А	Вузол Б	Довжина, фути	Конфіг.
52	53	200	1	76	77	400	6
53	54	125	1	76	86	700	3
54	55	275	1	77	78	100	6
54	57	350	3	78	79	225	6
55	56	275	1	78	80	475	6
57	58	250	10	80	81	475	6
57	60	750	3	81	82	250	6
58	59	250	10	81	84	675	11
60	61	550	5	82	83	250	6
60	62	250	12	84	85	475	11
62	63	175	12	86	87	450	6
63	64	350	12	87	88	175	9
64	65	425	12	87	89	257	6
65	66	325	12	89	90	225	10
67	68	200	9	89	91	225	6
67	72	275	3	91	92	300	11
67	97	250	3	91	93	225	6
68	69	275	9	93	94	275	9
69	70	325	9	93	95	300	6
70	71	275	9	95	96	200	10
72	73	275	11	97	98	275	3
72	76	200	3	98	99	550	3
73	74	350	11	99	100	300	3
74	75	400	11	100	450	800	3

Продовження таблиці 2.4

Вузол А	Вузол Б	Довжина, фути	Конфіг.	Вузол А	Вузол Б	Довжина, фути	Конфіг.
101	102	225	11	110	111	575	9
101	105	275	3	110	112	125	9
102	103	325	11	112	113	525	9
103	104	700	11	113	114	325	9
105	106	225	10	135	35	375	4
105	108	325	3	149	1	400	1
106	107	575	10	152	52	400	1
108	109	450	9	160	67	350	6
108	300	1000	3	197	101	250	3
109	110	300	9				

Далі прописуємо параметри трансформатора (табл.2.8) та вказуємо місце встановлення. Програмуємо регулятори напруги та вказуємо їхні параметри (табл.2.9). В кінцевому випадку програмуємо файли в яких отримаємо результати моделювання електричної мережі. Набраний код зберігаємо в форматі .glm і запускаємо в консолі програми GridLab-D та чекаємо на закінчення моделювання. Після цього відкриваємо файли з результатами та опрацьовуємо їх.

Таблиця 2.5 – Навантаження у вузлах споживачів [12]

Вузол	$P_A$ , кВт	$Q_A$ , кВАр	$P_B$ , кВт	$Q_B$ , кВАр	$P_C$ , кВт	$Q_C$ , кВАр
1	40	20	0	0	0	0
2	0	0	20	10	0	0
4	0	0	0	0	40	20
5	0	0	0	0	20	10



Продовження таблиці 2.5.

Вузол	$P_A$ , кВт	$Q_A$ , кВАр	$P_B$ , кВт	$Q_B$ , кВАр	$P_C$ , кВт	$Q_C$ , кВАр
6	0	0	0	0	40	20
7	20	10	0	0	0	0
9	40	20	0	0	0	0
10	20	10	0	0	0	0
11	40	20	0	0	0	0
12	0	0	20	10	0	0
16	0	0	0	0	40	20
17	0	0	0	0	20	10
19	40	20	0	0	0	0
20	40	20	0	0	0	0
22	0	0	40	20	0	0
24	0	0	0	0	40	20
28	40	20	0	0	0	0
29	40	20	0	0	0	0
30	0	0	0	0	40	20
31	0	0	0	0	20	10
32	0	0	0	0	20	10
33	40	20	0	0	0	0
34	0	0	0	0	40	20
35	40	20	0	0	0	0
37	40	20	0	0	0	0
38	0	0	20	10	0	0
39	0	0	20	10	0	0
41	0	0	0	0	20	10
42	20	10	0	0	0	0

Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата

Продовження таблиці 2.5.

Вузол	$P_A$ , кВт	$Q_A$ , кВАр	$P_B$ , кВт	$Q_B$ , кВАр	$P_C$ , кВт	$Q_C$ , кВАр
43	0	0	40	20	0	0
45	20	10	0	0	0	0
46	20	10	0	0	0	0
47	35	25	35	25	35	25
48	70	50	70	50	70	50
49	35	25	70	50	35	20
50	0	0	0	0	40	20
51	20	10	0	0	0	0
52	40	20	0	0	0	0
53	40	20	0	0	0	0
55	20	10	0	0	0	0
56	0	0	20	10	0	0
58	0	0	20	10	0	0
59	0	0	20	10	0	0
60	20	10	0	0	0	0
62	0	0	0	0	40	20
63	40	20	0	0	0	0
64	0	0	75	35	0	0
65	35	25	35	25	70	50
66	0	0	0	0	75	35
68	20	10	0	0	0	0
69	40	20	0	0	0	0
70	20	10	0	0	0	0
71	40	20	0	0	0	0
73	0	0	0	0	40	20

Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата

Продовження таблиці 2.5.

Вузол	$P_A$ , кВт	$Q_A$ , кВАр	$P_B$ , кВт	$Q_B$ , кВАр	$P_C$ , кВт	$Q_C$ , кВАр
74	0	0	0	0	40	20
75	0	0	0	0	40	20
76	105	80	70	50	70	50
77	0	0	40	20	0	0
79	40	20	0	0	0	0
80	0	0	40	20	0	0
82	40	20	0	0	0	0
83	0	0	0	0	20	10
84	0	0	0	0	20	10
85	0	0	0	0	40	20
86	0	0	20	10	0	0
87	0	0	40	20	0	0
88	40	20	0	0	0	0
90	0	0	40	20	0	0
92	0	0	0	0	40	20
94	40	20	0	0	0	0
95	0	0	20	10	0	0
96	0	0	20	10	0	0
98	40	20	0	0	0	0
99	0	0	40	20	0	0
100	0	0	0	0	40	20
102	0	0	0	0	20	10
103	0	0	0	0	40	20
104	0	0	0	0	40	20
106	0	0	40	20	0	0

Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата



Таблиця 2.8 – Параметри трансформатора

Марка	S, кВА	U <sub>1</sub> , кВ	U <sub>2</sub> , кВ	R, Ом	X, Ом
XFM-1	150	4,16	0,48	0,0127	0,0272

Таблиця 2.9 – Дані регуляторів напруги [12]

Регулятор	1	2	3	4
Відрізок лінії	150-149	9-14	25-26	160-67
Вузол	150	9	25	160
Фази	АВС	А	АС	АВС
Підключення	трифазне	однофазне	двофазне	трифазне
Моніторинг фази	А	А	А і С	А-В-С
Пропускна здатність	2 В	2 В	1 В	2 В
R	фаза А – 3 Ом	фаза А – 0,4	фаза А – 0,4 фаза С – 0,4	фаза А – 0,6 фаза В – 1,4 фаза С – 0,2
X	фаза А – 7,5 Ом	фаза А – 0,4	фаза А – 0,4 фаза С – 0,4	фаза А – 1,3 фаза В – 2,6 фаза С – 1,4
Рівень напруги	120	120	120	124

### 2.3.2 Чисельні методи розрахунку поточкорозподілу. Метод Ньютона

Статистична обробка експериментальних даних зазвичай ґрунтується на граничних теоремах теорії ймовірностей та вимагає обчислення оцінок в порівнянні з простими формулами. Однак для підвищення якості оцінок необхідна велика кількість даних, і обсяг обчислень може виявитися дуже великим. Тому чисельні методи тут націлені на скорочення обсягу обчислень при збереженні якості результатів. Найефективнішими числовими методами в цій галузі є методи, які застосовують швидке перетворення Фур'є. Для розв'язання задач апроксимації та обчислення функцій різних класів застосовують чисельні методи інтерполювання, найменших квадратів, ортогоналізації, врівноваження значень, умовної мінімізації та ін. Найактуальнішими є методи кусково-многочленної та



Тейлора і відкидаючи члени порядку вище 1, одержуємо наближену рівність, справедливу в деякому околі  $x_0$ :

$$f(x) \cong f(x_0) + f'(x_0)(x - x_0); \quad (2.3)$$

Оскільки шукається корінь  $f(x)$  то в лівій стороні формули можна поставити 0, і перше наближення:

$$x_1 = x_0 - \frac{f(x_0)}{f'(x_0)}; \quad (2.4)$$

одержується внаслідок елементарних перетворень.

Можна також дати геометричну інтерпретацію (рис.2.5).

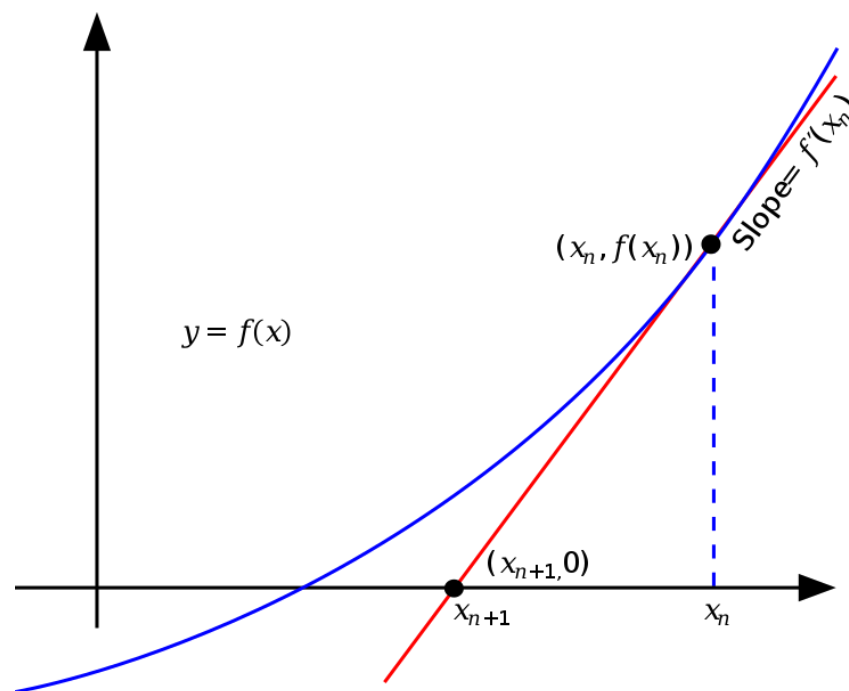


Рисунок 2.5 – Ілюстрація методу Ньютона (синім зображена функція  $f(x)$ , нуль якої необхідно знайти, червоним — дотична в точці наближення)

Основна ідея методу полягає в наступному: задається початкове наближення поблизу кореня, після чого будується дотична до досліджуваної функції в точці наближення, для якої знаходиться перетин з віссю абсцис. Точка перетину і береться як наступне наближення. І так далі, поки не буде досягнута необхідна точність. Формула наближення може бути виведена таким чином:





Продовження таблиці 2.11

Втрати потужності в трансформаторі, кВА	55848,787
Втрати в кабельних лініях, кВА	17401994
Втрати в повітряних лініях, кВА	2111325693
Максимальне відхилення напруги, %	4,44
Сумарні втрати потужності, кВА	2128783536

Отриманий результат моделювання для 15% споживачів за зеленим графіком заряджання (OPV2H) на рік заносимо в таблицю 2.12.

Таблиця 2.12 – Результат моделювання для 15% споживачів за зеленим графіком заряджання (OPV2H) на рік

Сумарне споживання потужності електромобілями, кВт	102565,655
Втрати потужності в трансформаторі, кВт	55817,129
Втрати в кабельних лініях, кВА	17401993,98
Втрати в повітряних лініях, кВА	2111327387
Максимальне відхилення напруги, %	4,44
Сумарні втрати потужності, кВА	2128785198

Отриманий результат моделювання для 30% споживачів за червоним графіком заряджання (Dem) на рік заносимо в таблицю 2.13.

Отриманий результат моделювання для 30% споживачів за синім графіком заряджання (OP) на рік заносимо в таблицю 2.14.

Отриманий результат моделювання для 30% споживачів за зеленим графіком заряджання (OPV2H) на рік заносимо в таблицю 2.15.

Таблиця 2.13 – Результат моделювання для 30% споживачів за червоним графіком заряджання (Dem) на рік

Сумарне споживання потужності електромобілями, кВт	200642,778
Втрати потужності в трансформаторі, кВА	55927,652
Втрати в кабельних лініях, кВА	17402266,59

Продовження таблиці 2.13

Втрати в повітряних лініях, кВА	2111345718
Максимальне відхилення напруги, %	4,443611774
Сумарні втрати потужності, кВА	2128803912

Таблиця 2.14 – Результат моделювання для 30% споживачів за синім графіком заряджання (OP) на рік

Сумарне споживання потужності електромобілями, кВт	195392,94
Втрати потужності в трансформаторі, кВА	55919,808
Втрати в кабельних лініях, кВА	17402249,99
Втрати в повітряних лініях, кВА	2111344919
Максимальне відхилення напруги, %	4,44
Сумарні втрати потужності, кВА	2128803088

Таблиця 2.15 – Результат моделювання для 30% споживачів за зеленим графіком заряджання (OPV2H) на рік

Сумарне споживання потужності електромобілями, кВт	203544,09
Втрати потужності в трансформаторі, кВт	55828,532
Втрати в кабельних лініях, кВА	17402268,96
Втрати в повітряних лініях, кВА	2111346751
Максимальне відхилення напруги, %	4,443611774
Сумарні втрати потужності, кВА	2128804849

Отриманий результат моделювання для 50% споживачів за червоним графіком заряджання (Dem) на рік заносимо в таблицю 2.16.

Таблиця 2.16 – Результат моделювання для 50% споживачів за червоним графіком заряджання (Dem) на рік

Сумарне споживання потужності електромобілями, кВт	339391,812
Втрати потужності в трансформаторі, кВА	55744,608
Втрати в кабельних лініях, кВА	17402608,13

Продовження таблиці 2.16

Втрати в повітряних лініях, кВА	2111363693
Максимальне відхилення напруги, %	4,44
Сумарні втрати потужності, кВА	2128822046

Отриманий результат моделювання для 50% споживачів за синім графіком заряджання (OP) на рік заносимо в таблицю 2.17.

Таблиця 2.17 – Результат моделювання для 50% споживачів за синім графіком заряджання (OP) на рік

Сумарне споживання потужності електромобілями, кВт	330425,815
Втрати потужності в трансформаторі, кВт	56064,85
Втрати в кабельних лініях, кВА	17402592,21
Втрати в повітряних лініях, кВА	2111362534
Максимальне відхилення напруги, %	4,44
Сумарні втрати потужності, кВА	2128821191

Отриманий результат моделювання для 50% споживачів за зеленим графіком заряджання (OPV2H) на рік заносимо в таблицю 2.18.

Таблиця 2.18 – Результат моделювання для 50% споживачів за зеленим графіком заряджання (OPV2H) на рік

Сумарне споживання потужності електромобілями, кВт	344728,725
Втрати потужності в трансформаторі, кВт	56331,282
Втрати в кабельних лініях, кВА	17402882,71
Втрати в повітряних лініях, кВА	2111363733
Максимальне відхилення напруги, %	4,443611774
Сумарні втрати потужності, кВА	2128822947

Отриманий результат моделювання для 70% споживачів за червоним графіком заряджання (Dem) на рік заносимо в таблицю 2.19.

Таблиця 2.19 – Результат моделювання для 70% споживачів за червоним графіком заряджання (Dem) на рік

Сумарне споживання потужності електромобілями, кВт	474271,68
Втрати потужності в трансформаторі, кВА	56029,09
Втрати в кабельних лініях, кВА	17402606,92
Втрати в повітряних лініях, кВА	2111384812
Максимальне відхилення напруги, %	4,44
Сумарні втрати потужності, кВА	2128843448

Отриманий результат моделювання для 70% споживачів за синім графіком заряджання (OP) на рік заносимо в таблицю 2.20.

Таблиця 2.20 – Результат моделювання для 70% споживачів за синім графіком заряджання (OP) на рік

Сумарне споживання потужності електромобілями, кВт	461655,61
Втрати потужності в трансформаторі, кВА	55781,35
Втрати в кабельних лініях, кВА	17402596,16
Втрати в повітряних лініях, кВА	2111382860
Максимальне відхилення напруги, %	4,44
Сумарні втрати потужності, кВА	2128841238

Отриманий результат моделювання для 70% споживачів за зеленим графіком заряджання (OPV2H) на рік заносимо в таблицю 2.21.

Таблиця 2.21 – Результат моделювання для 70% споживачів за зеленим графіком заряджання (OPV2H) на рік

Сумарне споживання потужності електромобілями, кВт	481088,94
Втрати потужності в трансформаторі, кВт	56074,62
Втрати в кабельних лініях, кВА	17402856,38
Втрати в повітряних лініях, кВА	2111385490
Максимальне відхилення напруги, %	4,44

## 2.4 Аналіз результатів моделювання

Аналізуємо результати отриманих даних. Порівнюємо сумарні втрати потужності кожного сценарію моделювання для кожного графіку зарядки. Сумарні втрати складаються з втрат потужності в повітряних ліній, втрат потужності в кабельних ліній та втрат потужності в трансформаторі. Сумарні втрати потужності порівнюємо на діаграмах рисунку 2.6 , які побудували за допомогою таблиць 2.10-2.21.

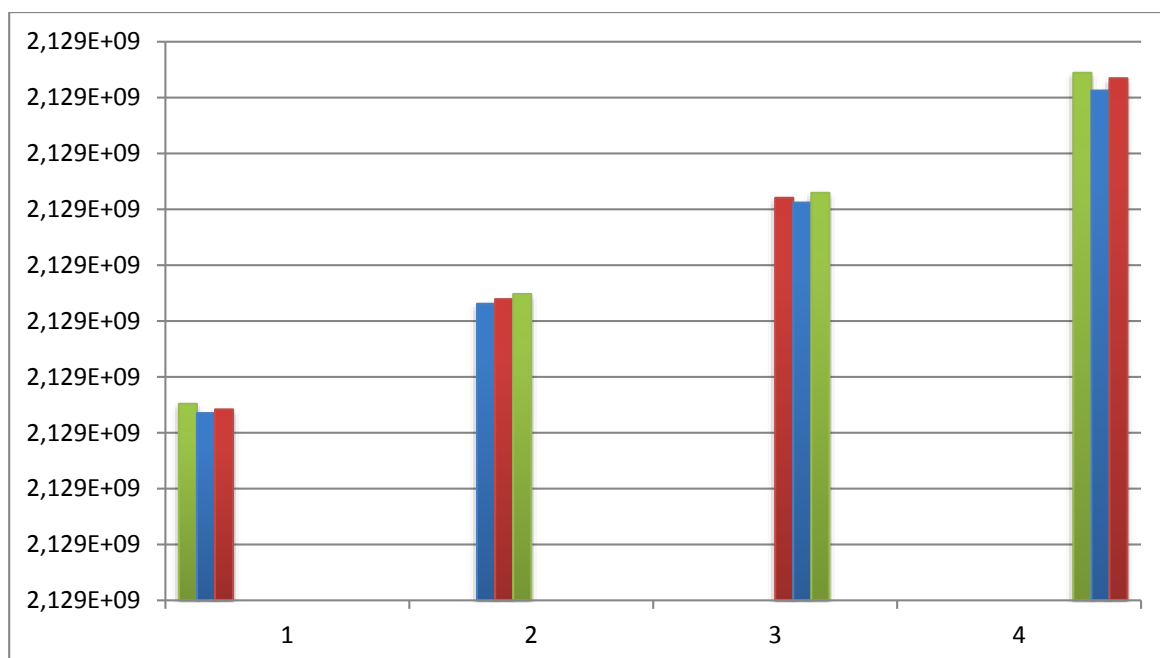


Рисунок 2.6 – Сумарні втрати потужності сценаріїв заряджання за рік в кВА:

1 – 15%, 2 – 30%, 3 – 50%, 4 – 70%

З отриманих діаграм (рис.2.6) бачимо, що в кожному сценарії втрати потужності при зеленому графіку зарядки (рис.2.3) найбільші. При червоному графіку зарядки (2.3) сумарні втрати потужності в кожному сценарії менші ніж при зеленому. Ну і найменші втрати потужності в кожному сценарії при синьому графіку зарядки (рис.2.3).

Найбільше спожито потужності електромобілями в кожному сценарії (15%, 30%, 50% і 70%) при зеленому графіку зарядки, найменше при синьому, що видно з результатів (табл.2.10-2.21).

Максимальне відхилення напруги знаходилося в межах допустимих норм 5%, що також видно з результатів (табл.2.10-2.21).

На основі зробленого аналізу робимо висновок, що оптимальним графіком зарядки для нашої мережі є синій графік.

						Лист
					БР 3.8.141.031 ЕТ-81/2-9 ПЗ	54
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата		

## 3 ОХОРОНА ПРАЦІ

### 3.1 Техніка безпеки при експлуатації і зарядці електромобілей

Електромобілі є новою технологією, в якій використовуються електричні компоненти на борту автомобіля. Різні пов'язані з цим ризики повинні бути суворо ідентифіковані.

Говорячи про безпеку електромобілів, необхідно враховувати кілька аспектів [5]:

- Безпека електричної системи;
- Безпека робочої частини;
- Безпека операцій із заряджання акумуляторів;
- Технічне обслуговування, експлуатація та рівень навчання

Захист людей від прямого контакту з активними електричними частинами тягової системи має бути забезпечений відповідною ізоляцією та недоступним розташуванням зазначених частин.

- Захист від непрямого дотику

Проблеми непрямого дотику часто пов'язані зі структурними проблемами. Контакт між ланцюгом тяги та конструкцією може призвести до небезпечних ситуацій, таких як:

- Короткі замикання;
- Електрошок;
- Незапланована та/або неконтрольована поведінка автомобіля

#### 1. Безпека акумулятора.

Акумулятор є найважливішим компонентом електромобіля. Це джерело кількох небезпечних явищ, таких як електричні,

*БР 3.8.141.031 ЕТ-81/2-9 ПЗ*

*Зм. Лист № докум Підпис Дата*

*Розробив Балабко О. А.*

*Перевірив Дяговченко І.*

*Н. Контр.*

*Затвердив*

*Оптимізація режимів зарядки  
електромобілей для зменшення  
втрат електроенергії в розподільних  
електричних мережах*

*Літера Лист Листів*

*у 54 62*

*СумДУ ЕТ-81/2-9*

механічні та хімічні небезпеки, не кажучи вже про небезпеку вибуху.

## 2. Небезпека ураження електричним струмом:

- Захист від ураження електричним струмом;

Корпуси акумуляторів повинні бути посилені за необхідності.

- Захист від короткого замикання

Тягові батареї мають значно більші струми короткого замикання, тому повинні бути встановлені запобіжні пристрої, такі як запобіжники, особливо в електричному центрі батареї. Розташування батареї має бути спроектовано таким чином, щоб унеможливити будь-який ризик некерованого контакту або короткого замикання. Для мінімізації струмів витоку, особливо у вентильованих батареях, потрібен розрахунок шляху витоку.

## 3. Хімічна небезпека:

- Літій-іонний акумулятор;

Конструкція Li-ion та інших літійових акумуляторів, як і конструкція всіх первинних батарей з літійовим анодом, відрізняється абсолютною герметичністю. Вимога абсолютної герметичності визначається як неприпустимістю витікання рідкого електроліту (негативно діючого на прилади) і недопустимість потрапляння в акумулятор кисню і вологи з навколишнього середовища, оскільки вони реагують із матеріалами електродів й електроліту, повністю виводячи акумулятор із ладу.

- Свинцеві акумулятори;

Для цього типу акумуляторів основна небезпека походить від електроліту (сірчана кислота), тому при обслуговуванні необхідно вживати додаткових запобіжних заходів. У разі аварії необхідно подбати про те, щоб електроліт не пролився на пасажирів або будь-кого поблизу.

- Нікель-кадмієві акумулятори;

У цьому типі акумуляторів електроліт є розчином гідроксиду калію. При обслуговуванні необхідно дотримуватися тих самих запобіжних заходів, що і зі свинцевими батареями. Операції з обігу та технічного обслуговування для цього типу батарей мають бути повністю розділені.





- Зовнішній зарядний пристрій;
  - Бортовий зарядний пристрій
6. Технічне обслуговування.

Для електромобілів необхідно враховувати три рівні технічного обслуговування:

- Технічне обслуговування першого рівня: користувачем;

Приклади: очищення автомобіля.

- Технічне обслуговування другого рівня: в майстерні, кваліфікованим персоналом. Приклади: планове механічне обслуговування, заміна контролерів;

- Технічне обслуговування третього рівня: у майстерні виробника.

Приклади: капітальний ремонт електрообладнання, який має виконуватися лише кваліфікованим персоналом

Техніка безпеки при зарядці електромобіля [4]:

1. При зарядці автомобіля слідуйте рекомендаціям виробника;
2. Використовувати треба тільки спеціальний зарядний кабель, розрахований на велике навантаження;
3. Не можна використовувати багатоштекерний адаптер або подовжувач.
4. Треба слідкувати за станом обладнання і не використовувати пошкоджену розетку або кабель;
5. Якщо заводський перехідник вийшов із ладу, то зверніть увагу, щоб у його заміни був захисний модуль. Цей елемент відслідковує напругу і температуру, запобігає коротке замикання або перегрів.
6. Переконайтесь, що електропроводка в домі здатна витримати великі навантаження. Під час зарядки мережа буде працювати на максимум і важливо, щоб даний процес не визвав перебоїв з електрикою.
7. Необхідно встановити пристрій захисного відключення із зарядним пристроєм. Він вимикає живлення в випадку знаходження несправності і допомагає запобігти пожежі.

8. Переконайтеся, що зарядка вашого електромобіля безпечна в вологих умовах.

Техніка безпеки при експлуатації електромобіля [**Помилка! Джерело посилання не знайдено.**]:

1. Необхідно проводити зовнішній огляд електрокара перед поїздкою;
2. Необхідно прочитати та дотримуватись інструкцій, вказаних на етикетках, прикріплених до моделі;
3. Система високої напруги не має деталей, обслуговуваних користувачем. Не можна розбирати, видаляти і замінювати компоненти під високою напругою, кабелі або роз'єми. Кабелі високої напруги пофарбовані в оранжевий колір для полегшення ідентифікації;
4. У разі зіткнення не можна торкатись високовольтної проводки, роз'ємів або компонентів, підключених до проводки;
5. Завжди треба від'єднувати зарядний кабель перед роботою під автомобілем, навіть якщо заряджання не виконується;
6. Ніколи не дозволяється батареї повністю розряджатися. Розряджання акумулятора до 0% може призвести до пошкодження компонентів автомобіля;
7. Не можна піддавати авто впливу температури навколишнього середовища вище 140 ° F (60 ° C) або нижче -22 ° F (-30 ° C) більше 24 годин поспіль.

### 3.2 Пожежна безпека електромобілей

Найпоширенішими причинами загорянь для електротранспорту є аварії і зіткнення, які викликають негативний і руйнівний вплив на акумулятор. Сильне зіткнення може привести до так званого «теплого розгону» – катастрофічне і незворотне підвищення температури акумулятора до граничних меж. Крім цього, катастрофічні наслідки і коротке замикання електромережі транспортного засобу можуть викликати: витік охолоджуючої рідини з АБ, попадання в електромережу автомобіля води [10].

Виникнення вогнища загоряння в акумуляторі літій-іонного типу автомобіля відбувається зазвичай не відразу, а через деякий час, що надає водієві і пасажирам час покинути салон. У той же час впоратися з вогнем і високою температурою дуже важко — відмінність пожежі в паливному і електричному автомобілі полягає в тому, що звичайні вогнегасники порошкового або газового типу не будуть ефективні. Крім того, під час гасіння електромобілів виникає ризик ураження струмом від високовольтних систем.

Перше, що необхідно зробити користувачеві автотранспорту – вибратися з охопленого вогнем або димом автомобіля і викликати рятувальників по телефону екстрених служб. Якщо умови дозволяють – можна використовувати вогнегасники пінного типу, дотримуючись усіх запобіжних заходів і перебуваючи на безпечній відстані. Головним завданням пожежних розрахунків на першому етапі є відключення високовольтного кабелю за допомогою аварійного роз'єму або механічним способом.

									Лист
									60
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата	БР 3.8.141.031 ЕТ-81/2-9 ПЗ				

## ВИСНОВОК

Під час виконання кваліфікаційної роботи бакалавра на тему: «Оптимізація режимів зарядки електромобілей для зменшення втрат електроенергії в розподільних електричних мережах» ми розглянули проблему зарядки електромобілів.

В першому розділі наведено історичні факти про електромобілі, їх появу та розвиток в країнах світу. Описали долю електромобільного транспорту в Україні та світі в сучасності. Навели особливості зарядки електрокарів. Ознайомилися з головними компонентами електромобіля.

Виконали моделювання заряджання електромобілів зі створеною електричною мережею і трьома графіками зарядки (червоний, синій та зелений (рис.2.3)) на рік. З кожним цим графіком відбувалося моделювання за сценаріями, коли 15% споживачів заряджають електрокари, 30%, 50% та 70%. З аналізу даних вдалось побачити, що в кожному сценарії за зеленим графіком зарядки сумарні втрати потужності найбільші, за синім найменші. Спожита потужність заряджання електромобілями також за зеленим графіком найбільша, за синім найменша. Оптимальним графіком зарядки електромобілів для нашої мережі є синій графік.

В третьому розділі виконали охорону праці.

									<i>Лист</i>
									61
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>	<i>БР 3.8.141.031 ЕТ-81/2-9 ПЗ</i>				

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Model operation manual. URL:  
[https://www.tesla.com/ownersmanual/modely/en\\_us/GUID-E414862C-CFA1-4A0B-9548-BE21C32CAA58.html](https://www.tesla.com/ownersmanual/modely/en_us/GUID-E414862C-CFA1-4A0B-9548-BE21C32CAA58.html)
2. Конструкція електромобіля: як влаштована «зелена машина». URL:  
<https://go-tou.com/ua/news/electric-car-design-how-do-electric-cars-work>
3. Електромобіль. URL:  
[https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%95%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%BC%D0%BE%D0%B1%D1%96%D0%BB%D1%8C#cite\\_note-12](https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%95%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%BC%D0%BE%D0%B1%D1%96%D0%BB%D1%8C#cite_note-12)
4. Зарядка електромобіля от сети 220В – советы по эксплуатации авто. URL:  
<https://oncharger.com.ua/a406540-zaryadka-elektromobilya-seti.html>
5. Electric vehicle safety. URL:  
<https://www.interventionprevention.com/en/safety-of-electric-vehicles/>
6. Способи зарядки електромобілів: 4 режими та швидка зарядка. URL:  
[https://electrica-shop.com.ua/ua/articles/112.sposobi\\_zaryadki\\_elektromobiliv\\_4\\_rezhimi\\_ta\\_shvidka\\_zaryadka](https://electrica-shop.com.ua/ua/articles/112.sposobi_zaryadki_elektromobiliv_4_rezhimi_ta_shvidka_zaryadka)
7. The Next-Generation Simulation Software. URL:  
<https://www.gridlabd.org/>
8. Electric car. URL: [https://en.wikipedia.org/wiki/Electric\\_car](https://en.wikipedia.org/wiki/Electric_car)
9. Метод Ньютона. URL:  
[https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D0%B5%D1%82%D0%BE%D0%B4\\_%D0%9D%D1%8C%D1%8E%D1%82%D0%BE%D0%BD%D0%B0](https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D0%B5%D1%82%D0%BE%D0%B4_%D0%9D%D1%8C%D1%8E%D1%82%D0%BE%D0%BD%D0%B0)

10. Пожежа в електромобілі: причини виникнення та правила гасіння.  
URL: <https://euroservis.com.ua/ua/pozharnaya-bezopasnost-elektromobilya/>
11. ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНІ СИСТЕМИ ТА УСТАТКУВАННЯ. URL:  
[https://previous.techned.org.ua/2018\\_3/st9.pdf](https://previous.techned.org.ua/2018_3/st9.pdf)
12. Basic GridLAB-D documentation. URL: <http://gridlab-d.sourceforge.net/wiki/index.php/Welcome>
13. IEEE PES Test Feeder. URL: <https://cmte.ieee.org/pes-testfeeders/resources/>
14. Spatio-temporal modelling of electric vehicle charging demand and impacts on peak household electrical load. URL:  
<https://link.springer.com/article/10.1007/s11625-013-0235-3>
15. Використання електричного автомобіля за країнами. URL:  
[https://uk.wikicsu.ru/wiki/Electric\\_car\\_use\\_by\\_country](https://uk.wikicsu.ru/wiki/Electric_car_use_by_country)
16. Чисельні методи. URL:  
[https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%A7%D0%B8%D1%81%D0%B5%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D1%96\\_%D0%BC%D0%B5%D1%82%D0%BE%D0%B4%D0%B8](https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%A7%D0%B8%D1%81%D0%B5%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D1%96_%D0%BC%D0%B5%D1%82%D0%BE%D0%B4%D0%B8)