

Міністерство освіти і науки України
Національний технічний університет
«Дніпровська політехніка»

Факультет інформаційних технологій
(факультет)

Кафедра системного аналізу та управління
(повна назва)

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
кваліфікаційної роботи ступеня бакалавра

Студентки Беспалової Катерини Юріївни
академічної групи 124-20-1
спеціальності 124 Системний аналіз

на тему: «Системний аналіз та розрахункова оптимізація розміщення зарядних станцій для електромобілів у умовах розвитку інфраструктури України»

Керівники	Прізвище, ініціали	Оцінка за шкалою		Підпис
		Рейтинговою	Інституційною	
кваліфікаційної роботи	<i>к.т.н., доц. Малієнко А.В.</i>			
розділів:				
Інформаційно- аналітичний	<i>к.т.н., доц. Малієнко А.В.</i>			
Спеціальний розділ	<i>к.т.н., доц. Малієнко А.В.</i>			
Рецензент				
Нормоконтролер	<i>к.ф.-м.н., доц. Хом'як Т.В.</i>			

Дніпро
2024

ЗАТВЕРДЖЕНО:
завідувач кафедри
Системного аналізу та управління
(повна назва)

_____ к.т.н., доц. Желдак Т.А.
(підпис) (прізвище, ініціали)

« _____ » _____ 2024 року

ЗАВДАННЯ
на кваліфікаційну роботу
ступеня бакалавра

студенту Беспаловій К. Ю. академічної групи 124-20-1
спеціальності: 124 Системний аналіз
на тему «Системний аналіз та розрахункова оптимізація розміщення зарядних станцій для електромобілів у умовах розвитку інфраструктури України»
затверджену наказом ректора НТУ «Дніпровська політехніка»
від 23.05.2024 р. №469-с

Розділ	Зміст	Терміни виконання
1. Інформаційно-аналітичний розділ	<i>Проаналізувати структуру об'єкта дослідження. Визначити предметну область дослідження та проблему, що розв'язується. Обґрунтувати методи виконання поставлених завдань</i>	10.09.2023 – 01.03.2024
2. Спеціальний розділ	<i>Розв'язати поставлені задачі: розробка програмного забезпечення для оптимального розташування зарядних станцій електромобілів та вибору типу роз'єму для них..</i>	01.03.2024 – 15.06.2024

Завдання видано _____ доц. Малієнко А.В.
(підпис) (прізвище, ініціали)

Дата видачі: 06.09.2024 р.

Дата подання до екзаменаційної комісії: _____

Прийнято до виконання _____ Беспалова К. Ю.
(підпис студента) (прізвище, ініціали)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 72 с., 11 рис., 1 табл., 5 додатків, 20 джерел.

Об'єктом дослідження в роботі є процес розробки програмного забезпечення для розв'язання задачі розташування зарядних станцій для електромобілів та експертної системи вибору типу роз'єму для зарядної станції.

Предметом дослідження є інфраструктура зарядних станцій для електромобілів та методи її оптимізації.

Метою даної кваліфікаційної роботи є розробка програмного забезпечення для оптимального розташування зарядних станцій для електромобілів та вибору типу роз'єму для них.

Методи дослідження: метод аналізу ієрархій – для визначення пріоритетів при виборі типу роз'єму для зарядних станцій, оптимізація багатократного покриття – для визначення оптимального розташування зарядних станцій, принципи програмування на мові Python.

В *інформаційно–аналітичному розділі* наведено аналіз об'єкту дослідження та ключових проблем на ньому. Поставлені задачі дослідження та обрано концепції їх розв'язання.

У *спеціальному розділі* сформовано постановку задачі та алгоритми програми для вирішення поставленої задачі, написано програмні додатки для розв'язання існуючої проблеми.

Практична цінність отриманих результатів полягає в тому, що запропоноване розроблене програмне забезпечення скорочує час пошуку локацій та типу роз'єму для зарядних станцій.

Ключові слова: ЕХПЕРТА, КМЕАNS, РУТНОN, ЕКСПЕРТНА СИСТЕМА, ЕЛЕКТРОМОБІЛЬ, ЗАДАЧА БАГАТОКРАТНОГО ОПТИМАЛЬНОГО ПОКРИТТЯ, ЗАРЯДНІ СТАНЦІЇ, МЕТОД АНАЛІЗУ ІЄРАХІЙ.

ABSTRACT

Explanatory note: 72 p., 11 pictures, 1 table, 5 appendixes, 20 sources.

Object of research: software development process for solving the problem of location of charging stations for electric vehicles and an expert system for choosing the type of connector for a charging station.

Subject of research: infrastructure of charging stations for electric vehicles and methods of optimization.

The purpose of the research: development of software for the optimal location of charging stations for electric vehicles and the selection of the type of connector for them.

Research methods and equipment: the method of analyzing hierarchies – to determine priorities when choosing the type of connector for charging stations, optimization of multiple coverage – to determine the optimal location of charging stations, principles of programming in the Python language.

The *information-analytical section* provides an analysis of the research object and its key problems. Research tasks are set and concepts for their solution are chosen.

In a *special section*, the statement of the problem and the algorithms of the program for solving the given problem were formed, and software applications were written to solve the existing problem.

The *practical value* of the results is that the proposed developed software reduces the time of searching for locations and type of connector for charging stations.

Keywords: CHARGING STATION, ELECTRIC VEHICLE, EXPERT SYSTEM, EXPERTA, HIERARCHY ANALYSIS METHOD, KMEANS, PYTHON, THE PROBLEM OF MULTIPLE OPTIMAL COVERAGE.

ЗМІСТ

ВСТУП	7
РОЗДІЛ 1 ІНФОРМАЦІЙНО-АНАЛІТИЧНИЙ	9
1.1 Електромобілі та зарядні станції, їх характеристики	9
1.1.1 Поняття електромобіль та його характеристики.....	9
1.1.2 Зарядні станції для електромобілів	12
1.2 Огляд поточного стану ринку електромобілів в Україні	14
1.2.1 Динаміка зростання кількості електромобілів	14
1.2.2 Фактори зростання кількості електромобілів	16
1.2.3 Географічний розподіл	17
1.2.4 Структура ринку	17
1.3 Поточний стан інфраструктури зарядних станцій.....	19
1.3.1 Стан інфраструктури.....	19
1.3.2 Компанії, що виробляють зарядні станції для електромобілів в Україні ...	21
1.3.3 Перспективи розвитку інфраструктури	29
1.4 Законодавство та державна підтримка.....	30
1.5 Методи оптимізації розміщення зарядних станцій для електромобілів.....	32
1.5.1 Метод TOPSIS.....	33
1.5.2 Оптимізація багатократного покриття обмеженої множини кулями	34
1.5.3 Метод аналізу ієрархій.....	41
Висновки	43
РОЗДІЛ 2 СПЕЦІАЛЬНИЙ	45
2.1 Постановка задачі дослідження	45
2.2 Розробка програмного забезпечення для розв'язання задачі багатократного оптимального покриття	48
2.2.1 Опис технічної реалізації	48
2.2.2 Інструкція користувача	50
2.2.3 Результати роботи програми	51
2.3 Розробка експертної системи вибору типу роз'єму для зарядної станції	55

	6
2.3.1 Опис технічної реалізації	55
2.3.2 Інструкція користувача	57
2.3.3 Результати роботи програми	59
Висновки	60
ВИСНОВКИ.....	62
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	64
ДОДАТОК А. ВІДОМІСТЬ МАТЕРІАЛІВ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ.....	67
ДОДАТОК Б. ВІДГУК КЕРІВНИКА КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ	68
ДОДАТОК В. РЕЦЕНЗІЯ.....	69
ДОДАТОК Г	70
ДОДАТОК Д.....	73

ВСТУП

Розвиток інфраструктури електромобілів є одним з пріоритетних напрямків розвитку транспортної системи України. Завдяки своїм екологічним та економічним перевагам електромобілі стають все більш популярними серед населення. Однак для того, щоб електромобілі стали дійсно масовим видом транспорту, необхідно створити розвинену мережу зарядних станцій.

Актуальність. Наразі інфраструктура зарядних станцій для електромобілів в Україні знаходиться на ранній стадії розвитку. Кількість зарядних станцій є недостатньою, а їх географічне розміщення не завжди відповідає потребам власників електромобілів. Це призводить до того, що люди не завжди можуть зарядити свої електромобілі, коли їм це потрібно, що стримує розвиток ринку електромобілів.

Мета. Розробка та реалізація програмного забезпечення для розв'язання задачі багатократного оптимального покриття, що використовується для розташування зарядних станцій для електромобілів та експертної системи вибору типу роз'єму для зарядної станції.

Об'єкт дослідження – інфраструктура зарядних станцій для електромобілів та методи її оптимізації.

Предметом дослідження є програмне забезпечення для оптимального розташування зарядних станцій та вибору типу роз'єму для них у умовах розвитку інфраструктури України.

Методи дослідження. Метод аналізу ієрархій – для визначення пріоритетів при виборі типу роз'єму для зарядних станцій, геоінформаційний аналіз – для візуалізації та планування розташування електромобілів на мапі України, оптимізація багатократного покриття – для визначення оптимального розташування зарядних станцій, принципи програмування на мові Python.

Практичне значення отриманих результатів. Цінність результатів полягає в тому, що запропоноване розроблене програмне забезпечення скорочує час пошуку локацій та типу роз'єму для зарядних станцій, що дозволить в подальшому пришвидшити даний процес.

РОЗДІЛ 1 ІНФОРМАЦІЙНО-АНАЛІТИЧНИЙ

1.1 Електромобілі та зарядні станції, їх характеристики

1.1.1 Поняття електромобіль та його характеристики

Електромобілі набули значного поширення у сучасному світі завдяки своїм екологічним перевагам, енергоефективності та зниженню залежності від викопних видів палива.

Електромобіль — автомобіль, що приводиться в рух одним або декількома електродвигунами з живленням від акумуляторів (BEV) або паливних елементів тощо, а не двигуном внутрішнього згоряння. Електромобіль слід відрізнити від автомобілів із двигуном внутрішнього згоряння та електричною передачею та від тролейбусів. Підвидами електромобіля вважаються електрокар (транспортний засіб для перевезення вантажів на закритих територіях) і електробус (автобус з акумуляторною тягою) [1].

Класифікація електромобілів

Електромобілі можна класифікувати на кілька основних типів:

1. Чисті електромобілі (Battery Electric Vehicles, BEV) – працюють виключно на електроенергії, що зберігається в акумуляторних батареях.
2. Гібридні електромобілі (Hybrid Electric Vehicles, HEV) – комбінують двигун внутрішнього згоряння з електродвигуном, що дозволяє оптимізувати споживання палива та зменшити викиди шкідливих речовин.

3. Плагін-гібриди (Plug-in Hybrid Electric Vehicles, PHEV) – мають більшу ємність батареї порівняно з HEV, що дозволяє їм працювати в електричному режимі на значні відстані.

4. Електромобілі на паливних елементах (Fuel Cell Electric Vehicles, FCEV) – використовують водень для виробництва електроенергії в паливних елементах.

Основні технічні характеристики електромобілів

1. Акумуляторні батареї:

Типи батарей: літій-іонні, нікель-металгідридні, літій-залізо-фосфатні та інші.

Ємність батареї: вимірюється в кіловат-годинах (кВт·год) і визначає запас ходу електромобіля.

Час заряджання: залежить від типу зарядного пристрою та потужності зарядної станції. Є три основні рівні зарядки: Level 1 (120 В), Level 2 (240 В) та швидка зарядка (DC Fast Charging).

2. Електродвигуни:

Типи двигунів: постійного струму (DC) та змінного струму (AC). Більшість сучасних електромобілів використовують двигуни змінного струму через їх ефективність та можливість регенерації енергії під час гальмування.

Потужність двигуна: вимірюється в кіловатах (кВт) або кінських силах (к.с.) і визначає динамічні характеристики автомобіля.

3. Запас ходу: визначає відстань, яку електромобіль може проїхати на одному заряді. Запас ходу залежить від ємності батареї, типу дороги, швидкості руху, погодних умов та інших факторів.

4. Енергоефективність: вимірюється в кіловат-годинах на 100 кілометрів (кВт·год/100 км) або в милях на галон еквіваленту (MPGe) для американського ринку.

5. Інфраструктура зарядки:

Зарядні станції: мережа зарядних станцій постійно розширюється, включаючи громадські зарядні станції, домашні зарядні пристрої та станції швидкої зарядки.

З'єднувачі та стандарти: використовуються різні типи роз'ємів для зарядки, зокрема, Type 1 (SAE J1772), Type 2 (Mennekes), CHAdeMO та CCS (Combined Charging System).

Переваги електромобілів

1. Екологічність – відсутність викидів CO₂ під час експлуатації, що зменшує забруднення повітря та вплив на зміну клімату.

2. Економічність - низькі витрати на зарядку порівняно з вартістю палива для автомобілів з ДВЗ, а також менші витрати на обслуговування завдяки меншій кількості рухомих частин.

3. Шумовий комфорт - практично безшумна робота електродвигуна, що зменшує шумове забруднення у містах.

4. Інноваційні технології – використання передових технологій, таких як автономне керування, підключені сервіси, та інтеграція з розумними мережами.

Електромобілі є важливим кроком на шляху до сталого розвитку транспорту. Вони пропонують значні переваги з точки зору екологічності та економічності, одночасно стимулюючи розвиток інноваційних технологій. Однак, для повного розкриття їх потенціалу необхідно подолати існуючі технічні та інфраструктурні виклики.

1.1.2 Зарядні станції для електромобілів

Зарядна станція — елемент міської інфраструктури, що надає електроенергію для зарядки акумуляторного електротранспорту, такого як електромобілі, електробуси, електроскутери, електросамокати, гіроскутери, сегвеї, електровелосипеди і т. п.

Зарядні станції є невід'ємною частиною інфраструктури електромобілів, забезпечуючи їх власникам можливість заряджати батареї своїх транспортних засобів. Розвиток мережі зарядних станцій сприяє популяризації електромобілів, зменшуючи страхи, пов'язані з обмеженим запасом ходу та можливістю заряджання.

Типи зарядних станцій

Зарядні станції для електромобілів поділяються на кілька основних типів, залежно від швидкості заряджання та типу використовуваної електроенергії:

1. Зарядні станції рівня 1 (Level 1) використовують стандартну побутову електричну розетку (120 Вольт у Північній Америці або 230 Вольт в Європі). Мають низьку швидкість заряджання, зазвичай додається приблизно 8-12 км запасу ходу за годину заряджання. Підходять для домашнього використання та нічного заряджання.

2. Зарядні станції рівня 2 (Level 2) використовують розетки з напругою 240 Вольт у Північній Америці або 400 Вольт у Європі. Мають середню швидкість заряджання, додається приблизно 30-60 км запасу ходу за годину заряджання. Використовуються як вдома, так і на громадських зарядних станціях, у місцях роботи, на паркінгах та торгових центрах.

3. Станції швидкої зарядки (DC Fast Charging) використовують постійний струм (DC) з високою потужністю, що може досягати до 350 кВт. Мають високу

швидкість заряджання та надають можливість зарядити до 80% батареї за 20-30 хвилин. Використовуються як громадські зарядні станції, зазвичай розташовані вздовж автострад та на заправних станціях, для швидкого поповнення заряду під час довготривалих поїздок.

Технічні характеристики зарядних станцій

1. Типи роз'ємів та стандарти:

Type 1 (SAE J1772) використовується переважно у Північній Америці.

Type 2 (Mennekes) – стандарт для Європи, підтримує як AC, так і DC заряджання.

CHAdeMO – японський стандарт для швидкої зарядки постійним струмом.

CCS (Combined Charging System) об'єднує можливості AC та DC заряджання, використовується у Європі та Північній Америці.

Tesla Supercharger призначений виключно для автомобілів Tesla, хоча деякі станції стають доступними для інших марок.

2. Потужність зарядних станцій:

Level 1: до 2 кВт.

Level 2: від 3,7 кВт до 22 кВт.

DC Fast Charging: від 50 кВт до 350 кВт.

3. Інтелектуальні зарядні станції можуть включати віддалене керування, моніторинг зарядки, динамічне регулювання потужності, інтеграцію з системами управління енергією будинку. Мають підвищену ефективність заряджання та можливість адаптації до змінних умов енергомережі, зручні для користувачів.

Зарядні станції для електромобілів є ключовим елементом для підтримки та розвитку екосистеми електричного транспорту. Їх доступність, надійність та зручність значно впливають на рішення споживачів щодо переходу на електромобілі. Постійний розвиток та вдосконалення зарядної інфраструктури, впровадження нових технологій та інтеграція з відновлюваними джерелами енергії сприяють створенню більш стійкої та екологічної транспортної системи.

1.2 Огляд поточного стану ринку електромобілів в Україні

Ринок електромобілів в Україні переживає динамічний розвиток. За останні кілька років кількість електромобілів на українських дорогах значно збільшилася, що свідчить про зростаючу популярність цього виду транспорту.

Цей розділ присвячений огляду поточного стану ринку електромобілів в Україні. У ньому буде розглянуто динаміку зростання кількості електромобілів, фактори, які стимулюють цей розвиток, структуру ринку, стан інфраструктури зарядних станцій, законодавство та державну підтримку, а також виклики та перспективи розвитку ринку.

1.2.1 Динаміка зростання кількості електромобілів

В останні роки ринок електромобілів в Україні демонструє значний ріст. Це відображає світову тенденцію переходу на більш екологічні види транспорту і свідчить про поступову зміну свідомості українських споживачів та їхнє прагнення до використання новітніх технологій.

До 2015 року ринок електромобілів в Україні перебував на початковій стадії розвитку. Кількість електромобілів на дорогах країни була мінімальною, головним чином через високу вартість таких автомобілів і відсутність розвиненої

інфраструктури для їхнього обслуговування та підзарядки. В період з 2012 по 2015 року в Україні було зареєстровано лише 435 електромобілів [2]. Проте вже на цьому етапі з'являлися перші ентузіасти, які активно просували ідею електромобільності та власноруч організовували зарядні станції.

Суттєві зміни почалися з 2016 року, коли кількість електромобілів в Україні почала зростати значними темпами. В період з 2016 по 2020 рік було зареєстровано вже 26 158 електромобілів [2].

У 2023 році в Україну було імпортовано 37 953 електромобіля, що у чотири рази більше, ніж у 2021 році та майже у три рази більше ніж у 2022 році (Рис. 1.1).

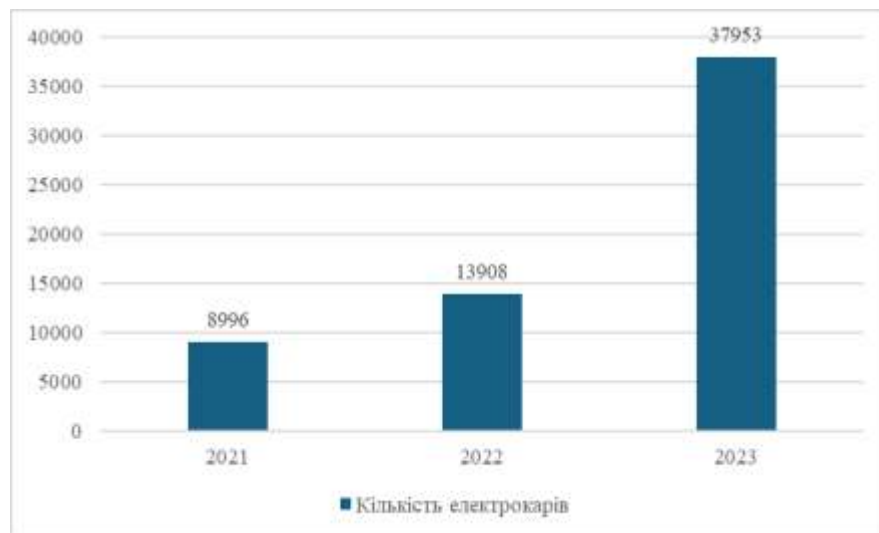


Рис. 1.1. Кількість електромобілів, ввезених в Україну у 2021-2023 роках

Загалом у 2023 році на електромобілі припадало 10% від загальної кількості імпортованих авто в Україну. Для порівняння, у 2021 році частка електромобілів становила лише 1,2%. [3]

Станом на початок травня 2024 року в Україні зареєстровано понад 102 тис. електрокарів — це 99 997 легкових авто, 2369 вантажних машин і 6 автобусів. [3]

1.2.2 Фактори зростання кількості електромобілів

Існує декілька основних причин для збільшення потоку вживаних електромобілів з країн Північної Америки, а саме: у світі все більше людей в Україні та по всьому світу віддають перевагу електромобілям; майстри та страхові компанії в США та Канаді вважають, що пошкоджені електромобілі важко відремонтувати, тому страхові компанії все частіше їх списують; підприємці, які скуповують розбиті машини, не можуть заробити на продажі деталей з них, тому перепродають їх за кордон. [4]

Також на підвищення популярності електромобілів впливає ціна на заряд такого авто у порівнянні з газовими, дизельними та бензиновими авто. Ціна зарядки електромобіля (на 11.08.2023): для домашньої мережі — 2,64 грн/кВт·год; звичайна зарядка — 10 грн/кВт·год та швидка — 13 грн/кВт·год. В той час, як ціна на газ — 23,62 грн/л; бензин А-95 — 51,94 грн/л; дизель — 51,29 грн/л. Отже, за середніми розрахунками використання електромобіля є більш економічно

	Домашня мережа, грн/кВт·год	Звичайна зарядна станція (AC), грн/кВт·год	Швидка зарядна станція (DC), грн/кВт·год	Газ, грн/л	Дизель, грн/л	Бензин, грн/л
Ціни, грн	2,64	10	13	23,62	50,72	51,4
Вартість на 100 км, грн	37,3	141,33	187,73	259,82	339,82	436,9

вигідним (Табл.1.1).

Таблиця 1.1. Порівняння витрат на зарядку електромобіля та інших типів авто

1.2.3 Географічний розподіл

Географічний розподіл електромобілів в Україні відображає загальні соціально-економічні, інфраструктурні та демографічні особливості регіонів країни. Наразі розподіл є нерівномірним, оскільки на це впливає низка факторів.

За 2023 рік найбільше імпортованих електромобілів було зареєстровано на Львівщині — 5 133 авто. На другому місці Київ — 4 913 електромобілів, а на третьому — Одеська область, там зареєстровано 3 412 електрокари (Рис.1.2). [3]

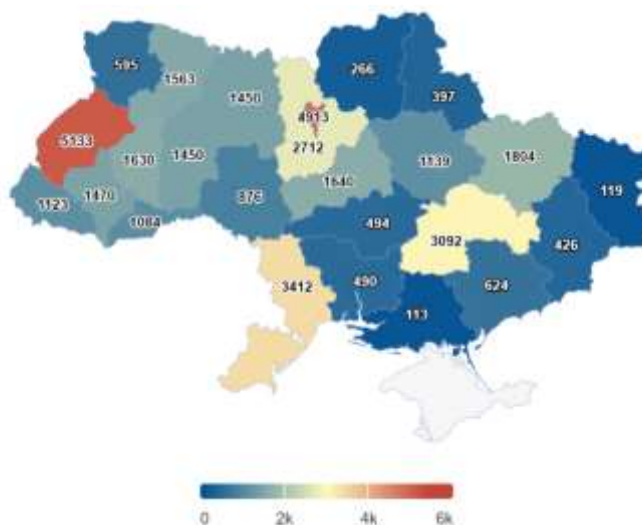


Рис. 1.2. Статистика реєстрації електромобілів за регіонами України за 2023 рік

Найбільшу кількість електромобілів зареєстровано у великих містах та обласних центрах, що пов'язано з вищою купівельною спроможністю населення, наявністю розвиненої інфраструктури та активною підтримкою місцевих органів влади.

1.2.4 Структура ринку

Протягом тривалого часу лідерами на внутрішньому ринку електромобілів України виступали три марки. Однак, зараз спостерігається значне зростання

популярності електромобілів Volkswagen, що робить цю марку одним з лідерів ринку. Водночас, загострилася конкурентна боротьба між Nissan та Tesla. Nissan, протягом майже 10 років утримував лідерство завдяки доступності та масовості свого електрокара Nissan Leaf-I. Tesla ж, завдяки високим характеристикам своїх електромобілів та значному зниженню цін, також здобуває значну популярність. Різниця в кількості проданих авто цих марок мінімальна (лише 5 одиниць), що робить визначення однозначного лідера на наступний період неможливим. Цьому сприяє також зростання популярності II генерації Nissan Leaf, ціни на яку також значно знизилися. [5]

Наразі можна виділити 20 найрозповсюдженіших марок електромобілів станом на квітень 2024 року (Рис.1.3).

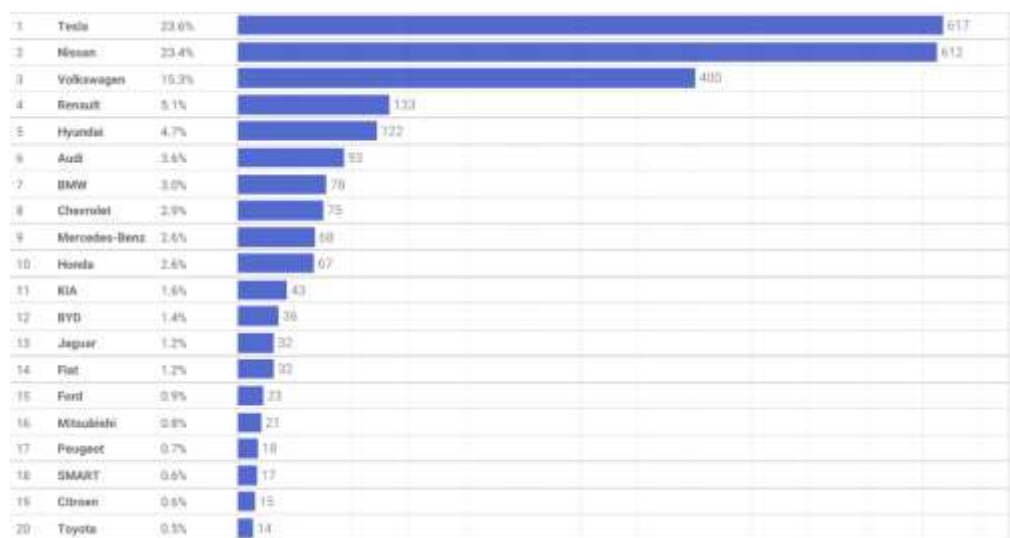


Рис. 1.3. Топ-20 виробників електромобілів, квітень 2024 року

Таким чином, ринок електромобілів України наразі характеризується динамічним розвитком та жорсткою конкуренцією. Прогнозувати лідера ринку в наступному періоді складно, адже ситуація може змінитися в будь-який момент.

У списку з 20 найпопулярніших моделей електромобілів перше місце на внутрішньому ринку зі значним відривом від найближчих конкурентів вже 4 роки

поспіль займає Nissan Leaf. Понад 5 тисяч таких авто ввезли в Україну у 2023 році. На другому місці знаходиться Volkswagen ID.4, щодо якого уклали 3 770 угод, на третьому — Tesla Model 3 з кількістю реєстрацій 3 291. Далі знаходиться Volkswagen E-GOLF, з підсумком 2 950 перепродажів, п'ята позиція — у Tesla Model Y, яку переоформили на нового власника 2 217 разів (Рис.1.4).

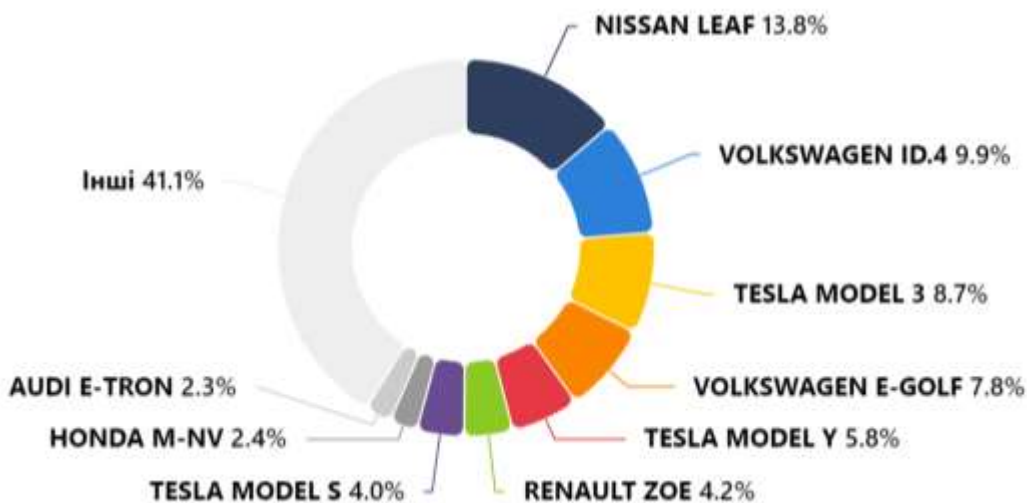


Рис. 1.4. Моделі електромобілів, ввезених в Україну за 2024 рік, у відсотковому співвідношенні

1.3 Поточний стан інфраструктури зарядних станцій

1.3.1 Стан інфраструктури

Інфраструктура в Україні не встигає за зростанням кількості електромобілів. Втім, на це може позитивно впливати Уряд, як регулятор. Однією з компаній, яка інвестує у розвиток електромобільної інфраструктури в Україні, є YASNO. Вона витратила для цього понад 30 млн грн та продовжує інвестувати. Щороку з'являються нові станції YASNO E-mobility. Наприклад, зараз мережа складається з 64 станцій у Києві, Одесі, Львові, Житомирі, Дніпрі, Вінниці, Тернополі та на трасах Київ – Одеса, Київ – Львів, Київ – Дніпро. [5]

В Україні зростає кількість електромобілів, разом із тим — число зарядних станцій для них. Станом на листопад 2019 року, в Україні налічується 5902 зарядних пунктів для електрокарів. Для порівняння, у 2018 році зарядних станцій було близько 1000, а у 2016 році — всього 600. Зарядки для електромобілів встановлюють на базі мереж АЗК, готелів і ресторанів. [6]

Перше, що необхідно зробити для покращення інфраструктури, це дослідити та проаналізувати ринок: дізнатися кількість електрифікованих автомобілів у регіоні, де планується відкрити зарядну станцію. Окрім того, необхідно врахувати, що кожна марка електромобілів має різні типи з'єднань. Одна станція зможе обслуговувати не всі марки автомобілів, тому є сенс поставити кілька заправних станцій в одному місці.

Найкращі локації для розміщення станцій — поблизу парків, спортивних і торговельних центрів, кінотеатрів, ресторанів, кафе, автостоянок, автомийок і гаражів. [7]

Однак, інфраструктурні виклики залишаються. Відсутність стандартизованих зарядних систем та нерівномірний розподіл станцій по країні ускладнюють процес користування електромобілями. Крім того, розвиток інфраструктури потребує значних інвестицій та зусиль з боку не лише приватних компаній, але й держави. Урядові ініціативи щодо створення сприятливих умов для інвесторів, зокрема шляхом надання податкових пільг та субсидій, можуть значно прискорити розвиток зарядної мережі.

Інфраструктура для електромобілів в Україні перебуває на етапі активного розвитку, але для досягнення належного рівня необхідні системні підходи та комплексні рішення, що враховують потреби як користувачів, так і інвесторів.

1.3.2 Компанії, що виробляють зарядні станції для електромобілів в Україні

Зростання популярності електромобілів в Україні призвело до появи нового ринку – ринку зарядної інфраструктури. Інвестування в зарядні станції починає ставати вигідним бізнесом. Важливо зазначити, що українські виробники електрозаправок зуміли скористатися цією можливістю, запропонувавши якісні та доступні рішення.

EcoFactor

EcoFactor – це українська компанія, яка займається розробкою та виробництвом зарядних станцій для електромобілів. Компанія була заснована у 2016 році в місті Одеса і з тих пір стала одним з провідних постачальників зарядних рішень в Україні. З моменту заснування компанія встановила та виготовила понад 6000 зарядних станцій і має понад 90 000 користувачів програми. [8]

Компанія пропонує широкий спектр зарядних станцій для різних потреб, включаючи: настінні станції змінного струму, які станції підходять для домашнього та комерційного використання і пропонують потужність зарядки до 22 кВт; швидкі зарядні пристрої постійного струму, призначені для швидкої зарядки електромобілів і можуть забезпечити потужність зарядки до 60 кВт; мобільні зарядні пристрої – компактні та портативні, що робить їх ідеальними для використання в дорозі.

EcoFactor покладається на високоякісні компоненти та новітні технології при виробництві зарядних станцій. Їхні станції надійні, довговічні та прості у використанні. Окрім виробництва зарядних станцій, EcoFactor також надає низку супутніх послуг, зокрема: встановлення та обслуговування зарядних станцій; консалтинг з питань електромобільності; розробка та впровадження програм зарядки електромобілів.

EcoFactor прагне розвивати інфраструктуру для електромобілів. Компанія пропонує доступні та надійні рішення для зарядки електромобілів, щоб зробити електротранспорт зручнішим і доступнішим для кожного.

AE Charge Point

Компанія AE Charge Point виготовляє домашні та комерційні зарядні станції для електромобілів з 2014 року. Також продукція виготовляється на харківській фабриці. Продукція поставляється в США, Канаду, Латинську Америку, Україну, Європу, Ізраїль та інші країни. AE Charging Point пропонує надійне партнерство, засноване на багаторічному досвіді та постійному виробництві. [9]

Компанія пропонує всі типи зарядних станцій – від домашніх настінних до розумних швидкісних зарядок. Окрім виробництва зарядних станцій, компанія розробила власне програмне забезпечення (мобільний додаток) для платної зарядки.

Станом на початок 2024 року AE Charging Point встановила понад 5000 зарядних станцій та має понад 1100 B2B клієнтів.

Octa

Octa Energy – український розробник і виробник зарядних станцій для електромобілів заснована в місті Київ.

Компанія виробляє широкий асортимент зарядних станцій в різних комплектаціях та конфігураціях, включаючи домашні та комерційні, корпоративні та громадські зарядні станції, настінні або підлогові станції на спеціальних стійках, з одним або кількома роз'ємами, для загального користування або обмеженого доступу. [10] Найпопулярнішою моделлю електрозаправки є антивандальний зарядний пристрій типу Octa Wall W122-SL.

Зараз компанія завершує тестування розумних станцій за протоколом ОСРР. Крім того, Оста співпрацює з ТОКА для розробки першого в Україні комплексного рішення для зарядної інфраструктури в багатоповерхових гаражах.

E-line

Компанія E-Line спеціалізується на виробництві обладнання для заправної інфраструктури всіх типів – від домашніх до громадських. Велику увагу компанія приділяє дизайну станцій і програмному забезпеченню.

Компанія офіційно існує з 2012 року, але розробки обладнання за західними стандартами почалися ще 3-4 роки до того. «Прага» - перший великий клієнт компанії, також E-Line співпрацює зі спільнотою власників електрокарів Tesla Club Ukraine, для якого постачала електрозаправні кабелі. [11]

Компанія співпрацює зі світовими виробниками електрообладнання та електромобілів. В 2015 році компанія E-Line підписала угоду з Phoenix Contact GmbH. Відповідно до неї, станції E-Line комплектуються кабелями та роз'ємами цього виробника.

В 2016 році компанія E-Line взяла участь в Електричному марафоні Київ-Монте-Карло. Команда марафону була забезпечена серійними станціями E-Line. Вони були встановлені на мобільній платформі, яка супроводжувала команду протягом перегонів.

В квітні 2016 року з метою реалізації спільного проекту компанія E-Line об'єдналася з Electric Marathon International. Метою цього проекту стала розробка прототипу спеціального автомобіля для Монако, який отримав назву Synchronuos. Для нього була розроблена та випущена спеціальна зарядна станція.

В 2017 році компанія E-Line взяла участь у національній програмі розвитку національної мережі зарядних станцій республіки Казахстан. Результатом її

реалізації стало встановлення зарядних станцій в аеропортах, на залізничних станціях, спортивних майданчиках та міських залах в містах Астана та Алмати.

Концепція зарядної станції, потужністю 100 кВт, була розроблена для I-Pace Jaguar.

Що стосується України, то найперша електрозаправка E-Line була встановлена у Львові в ознайомлювальних цілях. Тут може безкоштовно зарядити свій автомобіль будь-який охочий. Електроенергію, яку споживає станція, оплачує компанія Bosch Service в рамках партнерської програми з E-Line.

Сьогодні зарядні станції для електромобілів від компанії E-Line розташовані практично у всіх великих містах.

Greenfuel

Компанія GreenFuel, яка займається виробництвом зарядних станцій для електромобілів, працює на українському ринку з 2014 року. Виробничі потужності та сервісний центр компанії знаходиться в місті Києві. [12]

Перша лінійка зарядних пристроїв компанії була представлена влітку 2015 року. Тоді представники GreenFuel заявили, що готові створювати конкурентоспроможний продукт, який за ціною та якістю перевершує іноземні аналоги. Активна реалізація зарядних станцій компанії розпочалася в 2016 році.

Виготовлення та продаж зарядних станцій – не єдиний напрям діяльності компанії. GreenFuel виготовляє та реалізує різні аксесуари для електромобілів. Особливим попитом серед покупців користуються зарядні кабелі та роз'єми цієї компанії. Для розвитку цього напрямку налагоджені партнерські відносини з провідними світовими виробниками. Наприклад, підписана угода з компанією Phoenix Contact.

Сьогодні на українському ринку представлена велика кількість дешевих аксесуарів. Тому для того, щоб завоювати довіру клієнтів, компанія GreenFuel проводить додатковий внутрішній контроль якості своєї продукції. Це дає змогу налагоджувати довгострокові відносини.

Крім виробництва та реалізації зарядних станцій та аксесуарів до електромобілів, компанія GreenFuel пропонує сервісне обслуговування та проводить монтажні роботи.

Слід зазначити, що зарядними пристроями компанії GreenFuel користуються власники як бюджетних, так і дорогих електромобілів. Серед них необхідно виділити Nissan Leaf, Renault Fluence, Ford Focus, BMW i3, Mercedes B-electric, Tesla Model S, Tesla Model X.

Сьогодні основними конкурентами компанії являються зарубіжні компанії та концерни зі світовим ім'ям, у яких в цей напрямок інвестовані десятки мільйонів доларів. В планах компанії GreenFuel - зміцнити позиції на українському ринку та вийти на міжнародні канали постачання.

ChargeX

ChargeX – український стартап з Києва, який займається комплексними рішеннями для електрзарядної інфраструктури. [13] Компанія розробляє не тільки зарядні станції, а й програмне забезпечення для управління ними. Крім того, ChargeX отримав грант від ЄБРР в рамках програми «Кліматичний ваучер» на розробку зарядних станцій у пластикових корпусах.

Одним із головних завдань компанії є розвиток технологій підвищення енергоефективності продукції та раціонального використання енергії, а також зменшення викидів у навколишнє середовище.

Історія компанії почалася у 2016 році з ідеї створення хмарного сервісу для зарядних станцій. Стартап заснували: Юрій Дмитришин, Василь Сташук та Володимир Кравченко. Сервіс базувався на протоколі ОСРР, який поширений в Європі (Open Charge Point Protocol - протокол, який використовується для організації зв'язку між зарядними станціями для електрокарів). В результаті був розроблений хмарний сервіс OnCharge – для управління ОСРР-сумісними мультибрендовий зарядними станціями. Сервіс дозволяє створити мережу з зарядних станцій. Управління ними здійснюється з єдиного центру. Восени 2017 року команда запустила сервіс на комерційній основі – він працював для зарядки в салоні Electrocars, де люди змогли заряджатися на швидкості до 50 кВт·час. Крім цього, з цим сервісом працює мережа АЗС «Кло».

Після цього команда приступила до роботи над зарядною станцією ChargeX SC3211. Точніше, це не вся станція, а її серцевина, тобто контролер. Силу частину і порт команда закуповує у європейських виробників. Від інших станцій вона відрізняється вбудованим лічильником електроенергії, а також наявністю регулятора потужності подачі. Крім зарядки електрокарів вона виконує і інші функції, серед яких варто відзначити роздачу Wi-Fi.

Ще одним продуктом компанії є зарядна станція ChargeX SmartColumn в алюмінієвому корпусі.

Слід зазначити, що корпуси перших станцій виготовлялися з металу. Пізніше для серійного виробництва буде використовуватися пластик, який у порівнянні з металом має декілька переваг. По-перше, скорочуються викиди від виробництва. По-друге, зарядна станція набагато легша та стійкіша до корозії. По-третє - вона суттєво дешевша, ніж зарядна станція з металевим корпусом.

Попит на продукцію компанії є як серед приватних, так і серед комерційних осіб. В цілому ж вона орієнтується не на найбагатші європейські країни.

Елміз

Elmiz – українська компанія, яка спеціалізується на виробництві складного спеціалізованого обладнання. Вона виготовляє обладнання для космосу, гірничо-шахтне обладнання, світлодіодні світильники, геодезичне обладнання, пористий литий алюміній та обладнання для зв'язку. [14] Особливої уваги заслуговують зарядні станції для електромобілів, які також розробляються та виробляються компанією.

Заснована у 1996 році в результаті реструктуризації Київського радіозаводу, яка була проведена відповідно до постанови Кабінету Міністрів України, Elmiz розташовується в Дарниці, промисловому районі Києва. Продукція компанії призначена не тільки для українського ринку, але й для зарубіжних партнерів.

Elmiz має декілька цехів із сучасним обладнанням та виробничі лабораторії з різноманітними вимірювальними приладами для перевірки та тестування продукції. Компанія відома тим, що з 80-х років виробляє навігаційний комплекс "Курс", який використовується для стикування пілотованих і безпілотних кораблів "Союз" і "Прогрес" з Міжнародною космічною станцією. Проте криза в Україні змусила Elmiz переглянути свою діяльність і зайнятися більш перспективними напрямками.

У 2016 році Elmiz розробила високопотужні зарядні станції для електромобілів (60 і 75 кВт), що дозволяють швидко заряджати електротранспорт. Зарядні станції мають функцію поступового зниження зарядного струму в кінці процесу зарядки, що дозволяє заряджати електромобіль до 100% у режимі швидкої зарядки. Корпус станцій відповідає встановленим стандартам, є пило- та вологозахисним, що дозволяє встановлювати їх на відкритих майданчиках без додаткового захисту від погодних умов. Станції оснащені роз'ємами чотирьох

стандартів, що дозволяє заряджати різноманітні електромобілі та електроавтобуси. Elmiz планує продовжувати розвивати цей напрямок та випускати зарядні станції.

Elecar Group

Компанія Elecar Group була заснована у 2016 році з метою зменшення витрат на утримання автомобілів та забезпечення екологічної безпеки навколишнього середовища.

ELECAR GROUP випустила лінійку зарядних станцій, яка включає портативні побутові та громадські комерційні моделі. Вони оснащені різноманітними функціями, що не поступаються міжнародним аналогам. [15]

Найпопулярнішими серед власників електромобілів є зарядні станції SAE-7, Minibox-7 (портативна), TWIN-CHARGE та MENN22, які користуються великим попитом.

Компанія займається оптовим та роздрібним продажем обладнання і співпрацює з тими, хто бажає створювати свої мережі зарядних станцій. Вся продукція має ступінь захисту IP65, що дозволяє встановлювати її на відкритому повітрі.

ELECAR GROUP виробляє зарядні станції для електромобілів, що відповідають американським та європейським стандартам.

За три роки діяльності компанія створила різні електротехнічні пристрої, будує кабельні траси та доставляє електроенергію споживачам, приводить в дію різні механізми та апарати. Одним із напрямків діяльності є розробка зарядних пристроїв та керованих випрямлячів. Компанія ретельно аналізує потреби ринку зарядних станцій для електромобілів і відповідно працює над новою продукцією.

ELECAR GROUP приділяє особливу увагу сучасному дизайну корпусу, ергономічності, зручності в експлуатації та доступності для споживача. Для

виготовлення обладнання використовуються матеріали з антикорозійними властивостями та комплектуючі від провідних світових виробників.

Окрім виробництва зарядних станцій, компанія надає консалтингові послуги, послуги з підключення зарядних станцій, отримання додаткової потужності, підготовки необхідної документації для підключення до електромереж, а також розробку зарядних станцій на замовлення.

UGV Chargers

UGV Chargers – це українська компанія, яка проектує, виробляє та продає зарядні станції для електромобілів. Вони пропонують широкий спектр зарядних станцій для домашнього та комерційного використання. Їхні зарядні станції можна купити або взяти в оренду. UGV Chargers також пропонує мобільний додаток, який дозволяє користувачам знаходити зарядні станції, резервувати станції та відстежувати сеанси зарядки. [16]

Ось деякі з ключових особливостей зарядних станцій UGV Chargers: широкий спектр моделей для домашнього та комерційного використання; швидка зарядка; надійність і довговічність; простий монтаж і використання та доступні ціни.

UGV Chargers також пропонує ряд додаткових послуг, таких як: монтаж зарядних станцій, обслуговування та ремонт; гарантія.

1.3.3 Перспективи розвитку інфраструктури

Протягом 2024-2025 років, ймовірно, в Україну буде імпортовано більше американських автомобілів, оснащених роз'ємом Tesla NACS. Ці порти схожі на CCS з точки зору протоколу, тільки структура порту відрізняється.

Тому зі збільшенням кількості офіційно ввезених електромобілів в Україні будуть впроваджені три види роз'ємів: американський NACS, китайський GB/T та європейський CCS1/CCS2 (Рис. 1.5). У минулому офіційні імпортери призупиняли

замовлення через ризики, пов'язані з війною. Зараз ситуація дещо стабілізувалася і тепер можна замовити авто практично будь-якої марки. Єдина проблема – це ціна. Деякі переїжджають до ЄС, купують машини і повертаються в Україну.



Рис. 1.5. Типи роз'ємів для заряду електромобілів

Проблема полягає в тому, що питання розвитку інфраструктури не врегульоване на законодавчому рівні, що уповільнює розвиток цього ринку. Війна також ускладнює ситуацію: коли постає питання встановлення зарядної станції в Херсоні, інвестори можуть сумніватися, чи варто це робити.

Інфраструктура також страждає через руйнування: осколки пошкоджують і виводять з ладу будь-яку станцію, незалежно від матеріалу, з якого вона зроблена, а комунікації руйнуються. Наразі інвестиції спрямовуються переважно в регіони з меншими ризиками ураження. Станом на початок 2024 року Харків почав відновлюватися порівняно з 2022 роком: інвестиції в місто зростають, воно оживає, створюється інфраструктура.

У перспективі планується створення роумінгу, що зробить менш важливим кількість станцій у конкретних місцях. Всі оператори повинні об'єднатися для забезпечення комфорту кінцевих споживачів, і роумінг сприятиме цьому.

1.4 Законодавство та державна підтримка

Законом України № 2956-IX від 24 лютого 2023 року визначено поняття електромобілів, спрощено доступ до електроінфраструктури для зарядних станцій та переведено громадський транспорт на екологічно чисті види енергії. [17]

Цей закон визнає розвиток електромобілів та інфраструктури зарядних станцій пріоритетом національної політики в секторі автомобільного транспорту. Держава запровадила кілька фінансових стимулів та ініціатив для прискорення розширення зарядної інфраструктури. Зокрема, змінено вимоги щодо відведення земельної ділянки для встановлення зарядних станцій та встановлено пільговий період для підключення до електромереж до 1 січня 2025 року.

Крім того, до кінця 2024 року діятиме спрощений режим підключення зарядних станцій до електромереж, який, зокрема, скасовує оплату електроенергії під час підключення. Це призведе до збільшення закупівель електромобілів державним сектором. Крім того, закон дозволяє встановлювати зарядні термінали на території житлового комплексу та/або в місцях загального користування. Технічна документація для нових багатоквартирних будинків повинна передбачати щонайменше 50% місць для стоянки та зберігання електромобілів.

Специфіка збільшення автопарку електромобілів в Україні не типова для провідних європейських країн, адже здебільшого прибувають вживані авто. Це зумовлено відсутністю прямих субсидій при купівлі нового електромобіля, як це буває у багатьох європейських країнах. Пільги для покупців електромобілей наступні:

1. При купівлі не потрібно сплачувати податок на додану вартість, яка для автомобілів з ДВЗ складає 20%. Враховуючи відсутність потреби заправлятися паливом, власник не сплачує з нього й податок на утримання інфраструктури (хоча електромобілі користуються дорогами, але над цим питанням вже працюють).

2. Не доводиться сплачувати й ввізне мито та податок до пенсійного фонду. Акцизний збір, який для машин з ДВЗ залежить від типу палива та об'єму двигуна, для електромобілів складає лише 1 євро за 1 кВт ємності акумулятора.

Ідея пільг для зеленого транспорту була запозичена з європейських країн, де користувачі електромобілів мають більш широкі привілеї, наприклад, безкоштовна стоянка на парковці або знижка на пересування по платних дорогах.

Зелені номери для ідентифікації екологічного транспорту. Для зручності деякі дорожні знаки теж тепер з зеленими позначеннями, щоб водіям електрокарів було легше орієнтуватися. Нові знаки надають перевагу електромобілям, дозволяючи їм стояти або рухатись там, де заборонено авто з ДВЗ. Поки таких місць мало, але їх буде більшати з кожним роком.

У майбутньому саме «зеленим номерам» буде дозволено їздити у центрі міст та у зелених зонах. На сьогодні ініціативу заборони в'їзду дизельного транспорту в центр міста задекларувала лише влада Львова. Серед досить великого списку є й створення у Львові Low emission zones, доступ до яких матимуть транспортні засоби певних класів екологічності або лише електротранспорт.

Загалом, електромобілі в Україні мають величезну підтримку у держави, а їх вартість приваблива для наших громадян. Це пояснюється пільгами для покупки або ввезення зеленого транспорту. Ці норми тимчасові і діяли спочатку до 2022, а потім термін продовжили до 2026 року.

1.5 Методи оптимізації розміщення зарядних станцій для електромобілів

1.5.1 Метод TOPSIS

TOPSIS – це багатокритеріальний метод прийняття рішень. Цей спосіб ефективний, коли в задачі прийняття рішення присутня велика кількість альтернатив. У цьому методі необхідно призначити вагу кожному параметру рішення відповідно до потреб користувача. Деякі дослідники використовували метод TOPSIS, щоб безпосередньо знайти оптимальне місце для EVCS. [18]

Опис алгоритму

Першим кроком методу TOPSIS є створення матриці рішень (X_{ij}). Матриця рішень складається з m альтернатив і n атрибутів. Тому розмір матриці рішень дорівнює $m \cdot n$.

Другий крок полягає в тому, щоб знайти нормалізовану матрицю рішень (N_{ij}) з матриці рішень. Математичне рівняння для розрахунку N_{ij} показано нижче (1.1).

$$N_{ij} = \frac{X_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^n X_{ij}^2}} \quad (1.1)$$

На третьому кроці обчислюється зважена нормалізована матриця (V_{ij}). На цьому кроці кожному параметру рішення призначається вага. V_{ij} називається зваженою нормалізованою матрицею (1.2).

$$V_{ij} = N_{ij} \cdot W_i \quad (1.2)$$

Четвертий крок — знайти ідеальне найкраще (V^+) та ідеальне найгірше (V^-) значення. Найкраще та найгірше значення кожного параметра розглядаються як V^+ та V^- .

П'ятий крок полягає в обчисленні відстані між ідеальним найкращим і ідеальним найгіршим значенням. S^+ — відстань від ідеального найкращого рішення, а S^- — відстань від ідеального найгіршого рішення (1.3-1.4).

$$S_i^+ = \left[\sum_{j=1}^m (V_{ij} - V_j^+)^2 \right]^{0.5} \quad (1.3)$$

$$S_i^- = \left[\sum_{j=1}^m (V_{ij} - V_j^-)^2 \right]^{0.5} \quad (1.4)$$

Шостий крок полягає в обчисленні оцінки ефективності (P_i) за допомогою рівняння, наведеного нижче (1.5). За допомогою оцінки ефективності, отриманої за допомогою (1.5), ранги призначаються кожній альтернативі. Альтернатива, якій присвоєно найвищий ранг, є оптимальною альтернативою.

$$P_i = \frac{S_i^-}{S_i^+ + S_i^-} \quad (1.5)$$

1.5.2 Оптимізація багатократного покриття обмеженої множини кулями

В роботі Ш.І. Галієва та М.А. Карпова «Оптимізація багатократного покриття обмеженої множини кулями» були розглянуті наступні задачі. Сформулюємо задачу Z1: вибрати розташування N кіл K_j , $1 \leq j \leq N$, однакового радіуса r , що утворюють k -кратне ($1 \leq k \leq N$) покриття множини G таким чином, щоб їх радіус r досягав найменшого можливого значення r_{min} .

Відомі задачі 0-1 мінімального покриття і багатократного покриття як задача Z2 цілочисельного лінійного програмування:

$$\min \{cz: Az \geq q, z \in \{0, 1\}^n \text{ або } z \in Z^+\} \quad (1.6)$$

тут cz – скалярний добуток векторів c і z , $A \in m \times n$ – матриця, елементами якої 0 або 1, q - заданий m -мірний вектор, Z^+ – множина цілих невід'ємних чисел.

Неперервна задача k -кратного ($k \geq 1$) покриття площини, n -мірного простору або поверхні сфери колами, сферами або сферичними сегментами відповідно досліджується давно. Важливі результати і докладні огляди по покриттях містяться в. Для покриття окремих фігур (квадрата, трикутника, кола) встановлені екстремальні або передбачувані розташування N кіл, що забезпечують одноразове

покриття. Алгоритми для знаходження оптимальних однократних покриттів колами обмеженої частини площини будувалися різними авторами. Наприклад, була розглянута задача однократного покриття колами заданого кола. Ця задача вирішується розбиттям кола, що покривається, на частини і фіксуванням (на даній ітерації) радіусів, що покривають кола. Деякими авторами було запропоновано використовувати області Вороного.

Для поставленої задачі при різних метриках запропоновані різні евристичні алгоритми та алгоритми з використанням областей Вороного. Цікавий "інженерний" підхід, заснований на теорії стрижневих структур і температурних розширень і стиснень, запропонований для задачі покриття в. В деяких роботах було запропоновано максимізувати площу частини області G (обмежена множина на площині P), що покривається N колами фіксованого радіуса.

Всі зазначені вище алгоритми дозволяють знаходити покриття, в яких радіус r , можливо, досягає локального мінімуму, тобто $r \geq r_{min}$. Є багато робіт по покриттях сфери сферичними сегментами найменших радіусів. Деякі з методів покриття сфери можна перенести на випадки покриття частини площині і навпаки.

Багатократні покриття не менш цікаві й важливі, ніж однократні. Для багатократного покриття обмежених множин алгоритми не настільки численні. Алгоритми, що використовують області Вороного, як правило, можна поширити і для k -кратних ($k \geq 1$) покриттів. Однак числові результати по багатократним покриттям обмежених плоских областей у відомій літературі не так багато. У наведені деякі отримані результати 2-кратних покриттів квадрата.

Задача 0-1 мінімального покриття почала досліджуватися пізніше неперервної задачі, але вже є дуже велика кількість робіт з нею. Для розв'язку задачі 0-1 мінімального покриття відомі як точні, так і наближені методи. Точні методи, нажаль, затратні за часом і для задач великої розмірності незастосовні. Серед

наближених алгоритмів можна виділити жадібні алгоритм, різні евристичні алгоритми, як правило, теж використовують жадібні процедури, алгоритми ЛП-релаксації та округлення, комбінаторні методи, а також багато інших алгоритмів. У більшості із зазначених методів для вирішення задачі 0-1 мінімального покриття великих розмірностей спочатку вирішується релаксувати задачу, далі будь-яким чином будується задача меншої розмірності, яка вважається ядерною задачею, і остання вирішується точним методом.

В даній роботі отримані дослідження та чисельні результати будуть порівнюватися з деякими, представленими в даному розділі, роботами.

Математична постановка задачі багатократного оптимального покриття

Сформулюємо математичну модель задачі k -кратного оптимального покриття множини.

Нехай Ω – обмежена, замкнута, вимірна за Лебегом множина в n -вимірному евклідовому просторі E_n .

Будемо називати c -кулею радіуса R з центром у точці τ_i з E_n множину виду $B(\tau_i, R) = \{x \in E_n: c(x, \tau_i) \leq R\}$, де $c(x, \tau_i)$ – деяка метрика.

Функція $c(x, \tau_i)$ визначається як одна з метрик:

$$c(x, \tau_i) = \|x - \tau_i\|_2 = \sqrt{\sum_{j=1}^n (x^j - \tau_i^j)^2} - \text{Евклідова}, \quad (1.7)$$

$$c(x, \tau_i) = \|x - \tau_i\|_1 = \sum_{j=1}^n |x^j - \tau_i^j| - \text{Манхеттенська}, \quad (1.8)$$

$$c(x, \tau_i) = \|x - \tau_i\|_0 = \max_{j=1, \dots, N} \{|x^j - \tau_i^j|\} - \text{Чебишова} \quad (1.9)$$

Будемо казати, що сукупність центрів τ_1, \dots, τ_N задає k -кратне кульове покриття множини Ω з радіусом R , якщо $\Omega \subseteq \bigcup_{i=1}^N B(\tau_i, R)$, та для кожної точки $x \in \Omega$ виконується умова $x \in \bigcap_{j=1}^l B(\tau_{i_j}, R)$, $i_j \in \{1, 2, \dots, N\}$, $k \leq l \leq N$.

Ясно, що радіус R k -кратного покриття множини Ω , яка задається центрами τ_1, \dots, τ_N (вектором τ^N), має вигляд

$$R(\tau^N) = \sup_{x \in \Omega} \min_{i=1, \dots, N} c(x, \tau_i) \quad (1.10)$$

при чому для кожної точки $x \in \Omega$ виконується умова, $x \in \bigcap_{j=1}^l B(\tau_{i_j}, R)$, $i_j \in \{1, 2, \dots, N\}$, $k \leq l \leq N$, де $\tau^N = (\tau_1, \dots, \tau_N) \in \underbrace{E_n \times \dots \times E_n}_N = E_n^N$ (або, в частинному випадку, $\tau^N = (\tau_1, \dots, \tau_N) \in \underbrace{\Omega \times \dots \times \Omega}_N = \Omega^N$).

k -кратне покриття множини Ω , яке задається вектором $\tau^N = (\tau_1, \dots, \tau_N)$, з радіусом $R(\tau^N)$, що визначається за формулою (1.10), є мінімальним k -кратним c -кульовим покриттям, яке генерується вектором τ^N , тобто ніякі c -кулі з меншим радіусом з центрами в τ_1, \dots, τ_N не покривають Ω .

Означення: k -кратне покриття мінімального радіуса назовемо *оптимальним*.

Таким чином для знаходження оптимального покриття необхідно знайти величину

$$R(\tau^N) = \inf_{\tau^N} \sup_{x \in \Omega} \min_{i=1, \dots, N} c(x, \tau_i)$$

яка називається радіусом оптимального покриття та вектор $\tau_*^N = (\tau_1^*, \dots, \tau_N^*)$, при яких досягається значення, що дорівнює нижній границі, за умовою, що для кожної точки $x \in \Omega$ виконується умова

$$x \in \bigcap_{j=1}^l B(\tau_{i_j}, R), i_j \in \{1, 2, \dots, N\}, k \leq l \leq N.$$

Задача про пошук радіуса N кіл, що утворюють k -кратне c -кульове покриття множини може бути формалізована математично наступним чином.

Нехай Ω – обмежена, замкнута множина в просторі E_n , $\tau = (\tau_1, \dots, \tau_N)$ – заданий на множині Ω (або в просторі E_n) набір точок, які надалі називатимемо центрами. Будемо говорити, що точки $\tau_{i_1}, \tau_{i_2}, \dots, \tau_{i_k} \in k$ -найближчими сусідами точки $x \in \Omega$ із заданих N точок, якщо

$$\forall j = \overline{1, k} \quad c(x, \tau_{i_j}) < c(x, \tau_m), \quad m \in \{1, 2, \dots, N\} \setminus \{i_1, i_2, \dots, i_k\} \quad (1.11)$$

У частинних випадках, наприклад, коли множина Ω має симетричну структуру, або центри τ_1, \dots, τ_N розміщені в області Ω з певною закономірністю, для деяких точок $x \in \Omega$ знак нерівності в (1.11) може бути не строгим, тобто деякі з заданих центрів τ_1, \dots, τ_N можуть знаходитися на однаковій відстані від фіксованої точки $x \in \Omega$. Тоді будемо вважати, що точка $x \in \Omega$ має кілька різних наборів з k -найближчих сусідів. При чисельній реалізації пошуку k -найближчих сусідів фіксованої точки $x \in \Omega$ для однозначності будемо вважати, що набір k -найближчих сусідів утворюють точки $\tau_{i_1}, \tau_{i_2}, \dots, \tau_{i_k}$, що задовольняють наступній системі нерівностей

$$\forall j = \overline{1, k} \quad c(x, \tau_{i_j}) \leq c(x, \tau_m), \quad m \in \{1, 2, \dots, N\} \setminus \{i_1, i_2, \dots, i_k\}$$

та які мають найменші можливі індекси.

Введемо в розгляд множину Λ_N^k N -мірних векторів, координати яких можуть приймати значення 0 або 1, причому в кожному такому векторі одиниць може бути рівно k :

$$\Lambda_N^k = \left\{ \lambda = (\lambda_1, \dots, \lambda_N): \lambda_i = 0 \vee 1, i = \overline{1, N}; \sum_{i=1}^N \lambda_i = k \right\}.$$

Очевидно, $|\Lambda_N^k| = C_N^k$.

Тоді для кожної точки $x \in \Omega$ k -найближчих сусідів з фіксованого набору точок (τ_1, \dots, τ_N) можна знайти, вирішуючи задачу пошуку такого вектору $\lambda(x) = (\lambda_1(x), \dots, \lambda_N(x)) \in \Lambda$, при якому досягається мінімальне значення наступної величини:

$$C(x) = \min_{\lambda(x) \in \Lambda^k} \max_{i=\overline{1, N}} c(x, \tau_i) \lambda_i(x). \quad (1.12)$$

Методи та алгоритми розв'язання задач оптимального багатократного покриття множин

Представимо наближений алгоритм розв'язку задачі про пошук радіуса N кіл, що утворюють k -кратне c -кульове покриття множини, а також алгоритм розв'язку задачі про мінімальне k -кратне c -кульове покриття з розміщенням центрів кіл.

Для розв'язання задачі про відшукування радіусу N кіл, що утворюють k -кратне c -кульове покриття заданої множини Ω запропоновані два підходи.

Перший підхід реалізує математичну модель задачі, що переформулювали наступним чином: нехай \bar{I} - множина всіх сполучень з N елементів по k елементів, то є множина всіх можливих індексів k центрів, зони спостереження яких можуть одночасно покривати будь-яку точку множини Ω . Позначимо I_m - елемент множини \bar{I} . Очевидно, $|\bar{I}| = C_N^k$. Потрібно знайти величину

$$R = \sup_{x \in \Omega} \min_{I_m \in \bar{I}} \max_{i \in I_m} c(x, \tau_i). \quad (1.13)$$

Для реалізації формули (1.13) множина Ω покривається прямокутною сіткою. Позначимо множину всіх вузлів сітки $\tilde{\Omega}$. Наближене значення шуканого радіуса обчислюється за такою формулою:

$$\tilde{R} = \sup_{x \in \tilde{\Omega}} \min_{I_m \in \tilde{I}} \max_{i \in I_m} c(x, \tau_i).$$

Другий підхід розроблений з використанням алгоритмів сортування масиву відстаней від фіксованої точки $x \in \Omega$ до заданих центрів (τ_1, \dots, τ_N) .

Перейдемо до опису алгоритму розв'язку задачі (1.12) або (1.11) про пошук радіуса N кіл, що утворюють k -кратне c -кульове покриття заданої множини Ω з E_n . Для цього область Ω укладемо в n -вимірний паралелепіпед Π , сторони якого паралельні осям декартової системи координат, вводячи допоміжну функцію $\rho(x)$, визначену на Π , таку, що

$$\rho(x) = \begin{cases} 0 & \text{для } x \in \Pi/\Omega, \\ 1 & \text{для } x \in \Omega. \end{cases}$$

Тоді в задачі (1.12) під функцією $c(x, \tau_i)$ буде розумітися функція $c(x, \tau_i) \cdot \rho(x)$, яка визначена на Π і збігається з $c(x, \tau_i)$ на Ω .

1.1. Алгоритм №1

Попередній етап. Паралелепіпед Π покриваємо прямокутною сіткою з кроком Δh_j , $j = 1, \dots, n$; позначимо $\tilde{\Pi}$ - множину вузлів сітки. Задаємо положення центрів покриття $\tau = (\tau_1, \dots, \tau_N)$.

Крок 1. Для кожної точки x сітки $\tilde{\Pi}$ будуємо масив відстаней від цієї точки до всіх центрів: $D(x) = (c(x, \tau_1), c(x, \tau_2) \dots, c(x, \tau_N))$.

Крок 2. Отриманий масив відстаней $D(x)$ сортуємо за зростанням елементів.

Крок 3. У кожному відсортованому масиві відбираємо елемент, що стоїть на k -му місці (з порядковим номером k), позначимо цей елемент $c^k(x, \tau_{i_k})$.

Крок 4. Серед усіх відібраних елементів знаходимо найбільший:

$$\tilde{R} = \max_{x \in \Pi} c^k(x, \tau_{i_k}).$$

Отримане максимальне значення \tilde{R} є наближеним значенням радіусу кіл з центрами в точках, які k -кратно покривають множину Ω .

1.5.3 Метод аналізу ієрархій

Метод аналізу ієрархій (МАІ) – це структурований метод організації та аналізу складних рішень, заснований на математиці та психології. Може використовуватись як індивідуально, так і при груповому ухваленні рішень. Розроблений в 1970-х роках Томасом Л. Сааті, який співпрацював з Ернестом Форманом для розробки програмного забезпечення Expert Choice у 1983 році. Метод дає кількісну оцінку ваги критеріїв для ухвалення рішень. Для оцінки відносної величини факторів за допомогою парних порівнянь використовується досвід окремих експертів. Кожен із респондентів повинен порівняти відносну важливість між двома пунктами відповідно до спеціально розробленої анкети (хоча більшість опитувань прийняли п'ятибальну шкалу Лікерта, анкета МАІ передбачає використання від 1 до 9).

Основні етапи

Перший етап методу включає побудову ієрархічної структури проблеми, яка складається з трьох основних рівнів: мета, критерії та альтернативи. На найвищому рівні ієрархії визначається основна мета, яку потрібно досягти. Середній рівень містить критерії, за якими будуть оцінюватися альтернативи.

Критерії можуть бути поділені на підкритерії для більш детального аналізу. На найнижчому рівні знаходяться можливі альтернативні варіанти рішень.

Другий етап полягає у парному порівнянні критеріїв і альтернатив. Кожна пара елементів одного рівня ієрархії порівнюється щодо їхнього впливу на елемент вищого рівня за допомогою спеціальної шкали Сааті, де значення від 1 до 9 визначають ступінь переваги одного елемента над іншим.

Третій етап — розрахунок ваг критеріїв і альтернатив. На основі парних порівнянь будується матриця відносної важливості елементів, потім обчислюються власні значення та власні вектори цієї матриці, що дозволяє визначити ваги кожного критерію та альтернативи. Ці ваги показують, наскільки кожен елемент важливий для досягнення основної мети.

Четвертий етап включає перевірку узгодженості парних порівнянь. Оскільки ці порівняння можуть бути суб'єктивними, важливо перевірити їх узгодженість за допомогою індексу узгодженості та відносного індексу узгодженості. Якщо індекс узгодженості перевищує певне порогове значення (зазвичай 0.1), необхідно переглянути та скоригувати порівняння.

Остаточні ваги критеріїв і альтернатив використовуються для розрахунку загальних пріоритетів кожної альтернативи щодо досягнення основної мети. Альтернатива з найвищим пріоритетом обирається як найкращий варіант рішення.

Переваги та недоліки

Метод аналізу ієрархій має декілька важливих переваг. По-перше, він надає чітку і логічну структуру для розбивки складної проблеми на більш керовані частини, що полегшує її аналіз. По-друге, МАІ дозволяє враховувати як кількісні, так і якісні критерії, що робить його універсальним. По-третє, учасники процесу мають змогу побачити та зрозуміти, як кожне порівняння впливає на кінцевий

результат. Нарешті, метод добре підходить для роботи в командах, де необхідно врахувати різні думки та пріоритети.

Однак метод аналізу ієрархій має і деякі недоліки. Оцінки парних порівнянь можуть бути суб'єктивними, що може вплинути на точність кінцевих результатів. Крім того, для великих ієрархій процес розрахунків може бути досить складним, тому часто потрібне спеціалізоване програмне забезпечення.

Загалом, метод аналізу ієрархій є потужним інструментом для прийняття рішень в умовах невизначеності та багатокритеріальності. Він дозволяє систематично підходити до аналізу складних проблем і знаходити оптимальні рішення, враховуючи різні аспекти проблеми. Завдяки своїй структурованості та гнучкості, МАІ є незамінним інструментом для менеджерів, аналітиків та інших фахівців, які займаються прийняттям рішень.

Висновки

В першому інформаційно-аналітичному розділі було описано поняття електромобіля та зарядної станції для нього, також подано їх характеристики. Викладено огляд поточного стану ринку електромобілів в Україні, а саме: динаміка та фактори зростання їх кількості, географічний розподіл та структура їх кількості. Описано поточний стан інфраструктури зарядних станцій для електромобілів, в тому числі компанії, що займаються їх розробкою, виробництвом та встановленням, і також перспективи розвитку цієї галузі. Подано поточне становище законодавства України щодо електромобілів.

Викладено опис методу TOPSIS та основні етапи виконання методу. Також розглянуто оптимізацію багатократного покриття обмеженої множини кулями,

опис даного алгоритму та основні етапи. Надано опис, етапи та властивості методу аналізу ієрархій.

РОЗДІЛ 2 СПЕЦІАЛЬНИЙ

2.1 Постановка задачі дослідження

Розробка програмного забезпечення для визначення оптимального розташування зарядних станцій для електромобілів

Розробка програми для визначення оптимальних місць розташування зарядних станцій для електромобілів в Україні, базуючись на кількості електромобілів у різних областях та їх географічному розподілі.

Мета: створити програмне забезпечення, яке дозволить ефективно визначати місця для встановлення зарядних станцій для електромобілів, забезпечуючи їх оптимальне розміщення на території України.

Етапи

1. Збір та підготовка даних:

- Зібрати дані про кількість електромобілів у різних областях України.
- Отримати дані про географічні відомості областей України [19]

2. Обробка та перетворення даних:

- Перетворити координати з формату градусів, хвилин і секунд у десятковий формат.
- Розробити функцію для конвертації координат у більш зручний для обробки формат.
- Видалити невизначені або неповні дані.
- Забезпечити очищення даних для подальшого аналізу.

3. Аналіз даних:

- Згрупувати та візуалізувати точки, що відповідають розміщенню електромобілів.
 - Визначити кількість точок для кожної області на основі кількості електромобілів.
 - Використати алгоритм K-Means для кластеризації точок електромобілів.
 - Використати алгоритм кластеризації для визначення груп точок, що дозволить визначити оптимальні місця для зарядних станцій.
4. Визначення оптимальних місць для зарядних станцій:
- Визначити центроїди кластерів, що відображають оптимальні місця для розміщення зарядних станцій.
 - Знайти центральні точки для кожного кластера, які будуть місцями розташування зарядних станцій.
5. Візуалізація результатів:
- Побудувати карту України з показом розташування електромобілів та визначених оптимальних місць для зарядних станцій.
 - Використати географічні дані для створення візуалізації.
 - Додати підписи та легенди до карти.
 - Забезпечити чітку ідентифікацію різних типів точок (електромобілі, зарядні станції).
6. Вивід результатів:
- Вивести координати оптимально розміщених зарядних станцій у консоль.
 - Забезпечити можливість подальшого використання або збереження цих даних.

Очікуваний результат:

Програма, яка здатна ефективно визначати та візуалізувати оптимальні місця для встановлення зарядних станцій для електромобілів в Україні, базуючись на кількості електромобілів у різних областях та їх географічному розподілу. Програма повинна забезпечити зручний інтерфейс для виведення результатів у консоль та відображення на карті.

Розробка експертної системи вибору типу роз'єму для зарядки електромобілів

Мета полягає у створенні експертної системи, яка допоможе користувачам обрати оптимальний тип роз'єму для зарядки їхніх електромобілів. Система буде заснована на аналізі декількох критеріїв, таких як місцезнаходження, бюджет, перевага за швидкістю зарядки та потужність лінії. Кожен з цих критеріїв матиме вагу, яка визначається користувачем.

Опис функціональності системи:

1. Введення вхідних даних:

– Система запитує користувача про його місцезнаходження (область), бюджет (низький, середній, високий), перевагу за швидкістю зарядки (повільна, середня, швидка) та потужність лінії (низька, середня, висока).

– Користувач також встановлює пріоритети для кожного з цих критеріїв шляхом введення числових значень від 1 до 5, де 1 - найменший пріоритет, а 5 - найвищий.

2. Обчислення рекомендованого типу роз'єму:

– Система розраховує загальний бал для кожного типу роз'єму на основі введених даних та їх пріоритетів.

– Оцінка здійснюється за допомогою розрахунку, де кожному критерію (місцезнаходження, бюджет, швидкість, потужність лінії) призначається певний бал, залежно від введених користувачем даних.

3. Виведення рекомендації:

– На основі обчисленого балу система визначає оптимальний тип роз'єму для конкретного користувача.

– Рекомендований тип роз'єму виводиться на екран користувачу з можливістю подальших консультацій або змін введених даних.

Ця система дозволить користувачам швидко та ефективно знайти відповідний тип роз'єму для зарядки їхніх електромобілів з урахуванням їхніх індивідуальних умов та вимог.

2.2 Розробка програмного забезпечення для розв'язання задачі багатократного оптимального покриття

2.2.1 Опис технічної реалізації

Повний лістинг програми подано в Додатку Г.

Підготовка до розробки

Отримання геометричних даних кордонів України: використовуються дані з GitHub репозиторію [20], що містять геометричні дані для всіх країн, включаючи Україну.

Етапи розробки програмного забезпечення

Імпорт необхідних бібліотек:

re – для роботи з регулярними виразами.

pandas – для роботи з таблицями даних.

numpy – для числових операцій.

shapely.geometry.Point – для створення точкових геометричних об'єктів.

geopandas – для роботи з географічними даними.

matplotlib.pyplot – для візуалізації даних.

os – для роботи з файловою системою.

sklearn.cluster.KMeans – для кластеризації точок.

Функція *convert_to_decimal* перетворює координати з формату градуси-хвилини-секунди (DMS) в десятковий формат.

Задається папка з файлами та створюється порожній *GeoDataFrame*. Також визначається словник *electrocar_data*, який містить кількість електромобілів у кожній області.

Завантаження даних країн, фільтрація для України та отримання координат кордонів України.

Ітерація по файлах у папці, зчитування кожного файлу, перетворення координат, створення точок та додавання їх у загальний *GeoDataFrame* «*gdf_points*». Визначення кількості точок для кожної області залежно від кількості електромобілів.

Отримання координат точок електромобілів та використання алгоритму K-Means для кластеризації точок і визначення оптимальних місць для зарядних станцій. Створення *GeoDataFrame* «*gdf_stations*» для центроїдів кластерів.

Візуалізація даних на карті України: точки електромобілів позначаються червоним, а зарядні станції синім кольором.

Виведення результатів: координати місць для зарядних станцій.

2.2.2 Інструкція користувача

Вимоги

1. Операційна система: Windows, macOS, Linux.
2. Програмне забезпечення: Python 3.9 або вище.
3. Необхідні бібліотеки:
 - pandas
 - numpy
 - shapely
 - geopandas
 - matplotlib
 - scikit-learn
 - os
 - re

Встановлення необхідних бібліотек

Необхідно запустити командний рядок або термінал та ввести наступні команди для встановлення необхідних бібліотек:

```
pip install pandas numpy shapely geopandas matplotlib scikit-learn
```

Виконання програми

1. Запуск програми:

Необхідно відкрити командний рядок або термінал, перейти до каталогу з програмою та виконати наступну команду:

```
python main.py
```

2. Перевірка результатів:

Після виконання програми користувач має побачити:

- Карту України з позначеними місцями розташування електромобілів (червоні точки) та оптимальними місцями для зарядних станцій (сині точки).
- Координати оптимальних місць для встановлення зарядних станцій будуть виведені у консоль.

Додаткові можливості

Налаштування кількості зарядних станцій: користувач може змінити кількість зарядних станцій, редагуючи змінну *num_stations* у кодї програми.

Додавання нових даних: користувач може додати нові CSV-файли з оновленими даними областей у папку *data*.

2.2.3 Результати роботи програми

Якщо кількість зарядних станцій, які необхідно розташувати, дорівнює 100, отримуємо наступні результати на мапі (Рис.2.1):



Рис. 2.1. Візуалізація результатів на мапі при кількості зарядних станцій 100

І також отримуємо координати для розташування зарядних станцій (перші 14 зі 100) (Рис.2.2):

```
Локації для зарядних станцій:
Координати: (49.478004, 24.221382)
Координати: (50.548920, 31.761755)
Координати: (47.695139, 35.213040)
Координати: (48.154282, 29.199290)
Координати: (51.344346, 27.780296)
Координати: (50.160951, 29.940360)
Координати: (46.888826, 31.010257)
Координати: (50.045044, 35.865833)
Координати: (48.352719, 26.051621)
Координати: (48.803674, 33.649561)
Координати: (48.103667, 37.611111)
Координати: (51.594434, 25.702254)
Координати: (50.154769, 25.552067)
Координати: (45.398889, 28.841667)
```

Рис. 2.2. Координати для розташування зарядних станцій при кількості станцій 100

Якщо кількість зарядних станцій, які необхідно розташувати, дорівнює 500, отримуємо наступні результати на мапі (Рис.2.3):



Рис.2.3. Візуалізація результатів на мапі при кількості зарядних станцій 500

І також отримуємо координати для розташування зарядних станцій (перші 14 з 500) (Рис.2.4):

```
Локації для зарядних станцій:
Координати: (48.902239, 23.441765)
Координати: (50.363889, 31.714167)
Координати: (48.280000, 35.668568)
Координати: (48.398167, 27.936611)
Координати: (51.324778, 26.572667)
Координати: (47.587457, 29.997564)
Координати: (49.698889, 30.139444)
Координати: (49.272176, 24.372685)
Координати: (48.757040, 34.023017)
Координати: (49.808611, 26.090694)
Координати: (49.221556, 36.871778)
Координати: (46.005833, 29.401667)
Координати: (50.652006, 28.521667)
Координати: (50.396528, 34.007806)
Координати: (50.325842, 30.168872)
```

Рис. 2.4. Координати для розташування зарядних станцій при кількості станцій 500

Якщо кількість зарядних станцій, які необхідно розташувати, дорівнює 700, отримуємо наступні результати на мапі (Рис.2.5):



Рис.2.5. Візуалізація результатів на мапі при кількості зарядних станцій 700

І також отримуємо координати для розташування зарядних станцій (перші 14 з 700) (Рис.2.6):

```
Локації для зарядних станцій:
Координати: (49.914907, 24.993241)
Координати: (50.303444, 30.145306)
Координати: (48.665556, 35.550278)
Координати: (46.954167, 29.908889)
Координати: (49.917143, 23.752619)
Координати: (50.334056, 27.075333)
Координати: (49.806019, 32.687222)
Координати: (48.521790, 26.058241)
Координати: (47.809359, 33.285427)
Координати: (50.253704, 31.493889)
Координати: (49.074167, 37.945000)
Координати: (48.134340, 30.263021)
Координати: (48.497722, 24.477917)
Координати: (50.499861, 34.985972)
```

Рис. 2.6. Координати для розташування зарядних станцій при кількості станцій 700

2.3 Розробка експертної системи вибору типу роз'єму для зарядної станції

2.3.1 Опис технічної реалізації

Повний лістинг програми подано в Додатку Д.

Імпорт необхідних бібліотек

experta – бібліотека для побудови експертних систем в Python. Вона дозволяє створювати правила і факти, що керують логікою системи.

Визначення класу експертної системи

EVChargingStationExpertSystem – основний клас системи, що унаслідується від *KnowledgeEngine* з бібліотеки *experta*.

__init__ – ініціалізує об'єкт, викликає конструктор батьківського класу та створює словник для зберігання відповідей користувача.

Ініціалізація фактів

@DefFacts() – декоратор, що визначає початкові факти, які завантажуються в робочу пам'ять системи при її запуску.

_initial_action – метод, який додає початковий факт *action = "find_connector_type"*.

Правило для запиту інформації у користувача

@Rule(Fact(action='find_connector_type')) – декоратор, що визначає правило для збору інформації від користувача, коли є факт *action='find_connector_type'*.

ask_questions – метод, що запитує користувача про місцезнаходження, бюджет, перевагу за швидкістю зарядки, потужність лінії та пріоритети для кожного з цих параметрів. Отримані відповіді зберігаються в словнику *answers*.

self.declare – кожна відповідь декларується як факт у системі.

Обчислення оцінки

calculate_score – метод для обчислення загальної оцінки на основі введених користувачем даних та їх пріоритетів.

location_scores, *budget_scores*, *speed_scores*, *line_capacity_scores* – словники, що зберігають оцінки для різних параметрів.

score – початкова оцінка, яка збільшується залежно від значень параметрів та їх пріоритетів.

Правило для вибору типу роз'єму

@Rule – декоратор, що визначає правило для вибору типу роз'єму на основі введених користувачем даних.

suggest_connector – метод, що виконує обчислення загальної оцінки за допомогою *calculate_score* та визначає рекомендований тип роз'єму (CCS, CHAdEMO, Type 2, Type 1) залежно від отриманої оцінки.

self.declare – декларує факт з рекомендованим типом роз'єму.

Правило для виведення рекомендації

@Rule(Fact(connector_type=MATCH.connector_type)) – декоратор, що визначає правило для виведення рекомендації, коли є факт з типом роз'єму.

show_suggestion – метод, що виводить на екран користувачу рекомендований тип роз'єму.

Запуск експертної системи

if __name__ == "__main__": – стандартна перевірка, що забезпечує виконання коду тільки при запуску файлу як основного.

engine = EVChargingStationExpertSystem() – створення екземпляру експертної системи.

engine.reset() – скидання системи до початкового стану, що включає завантаження початкових фактів.

engine.run() – запуск системи, що призводить до виконання правил на основі введених користувачем даних.

2.3.2 Інструкція користувача

Для роботи програми необхідно мати встановлений Python та бібліотеку *experta*. Для встановлення бібліотеки *experta* використовується наступна команда:

```
pip install experta
```

Запуск програми

1. Завантаження файлу програми
2. Запуск терміналу або командного рядка.
3. Перехід до директорії, де збережений файл з програмою.
4. Запуск програми командою:

```
python ev_charging_expert_system.py
```

Використання програми

Після запуску програми користувачу буде запропоновано ввести кілька параметрів для визначення оптимального типу роз'єму:

1. Локація (область):

Ввід назви області, в якій необхідно встановити зарядну станцію для електромобілів (наприклад, "Київська", "Львівська").

2. Бюджет:

Ввід бюджету на встановлення зарядної станції. Можливі варіанти: "низький", "середній", "високий".

3. Перевага за швидкістю зарядки:

Ввід переваги за швидкістю зарядки. Можливі варіанти: "повільна", "середня", "швидка".

4. Потужність лінії:

Ввід потужності наявної лінії. Можливі варіанти: "низька", "середня", "висока".

5. Пріоритет бюджету:

Ввід пріоритету бюджету на шкалі від 1 до 5, де 1 означає найнижчий пріоритет, а 5 - найвищий.

6. Пріоритет швидкості зарядки:

Ввід пріоритету швидкості зарядки на шкалі від 1 до 5.

7. Пріоритет потужності лінії:

Ввід пріоритету потужності лінії на шкалі від 1 до 5.

Результат

Після введення всіх даних система обробить вашу інформацію та виведе рекомендацію щодо оптимального типу роз'єму для зарядної станції. Результат буде відображений у форматі:

Рекомендований тип роз'єму: <тип_роз'єму>

Можливі типи роз'ємів: CCS, CHAdeMO, Type 2, Type 1.

Додаткові рекомендації

Користувач має точно вводити всі параметри, оскільки некоректні дані можуть призвести до некоректної роботи програми.

2.3.3 Результати роботи програми

Приклад №1 даних, що було надано:

Введіть вашу локацію (область): *Київська*

Введіть ваш бюджет (низький/середній/високий): *ВИСОКИЙ*

Введіть вашу перевагу за швидкістю зарядки (повільна/середня/швидка): *ШВИДКА*

Введіть потужність лінії (низька/середня/висока): *ВИСОКА*

Введіть пріоритет бюджету (1-5): *5*

Введіть пріоритет швидкості зарядки (1-5): *5*

Введіть пріоритет потужності лінії (1-5): *5*

Приклад №1 результату роботи програми:

Рекомендований тип роз'єму: CHAdemo

Приклад №2 даних, що було надано:

Введіть вашу локацію (область): *Хмельницька*

Введіть ваш бюджет (низький/середній/високий): *середній*

Введіть вашу перевагу за швидкістю зарядки (повільна/середня/швидка): *середня*

Введіть потужність лінії (низька/середня/висока): *ВИСОКА*

Введіть пріоритет бюджету (1-5): *4*

Введіть пріоритет швидкості зарядки (1-5): *3*

Введіть пріоритет потужності лінії (1-5): *4*

Приклад №2 результату роботи програми:

Рекомендований тип роз'єму: Type 2

Висновки

В другому спеціальному розділі було сформовано та описано постановку задачі, а саме: опис програмного забезпечення, що має виконувати поставлені задачі, мета розробки та основні етапи створення програми для розв'язання задачі багатократного оптимального покриття та експертної системи для вибору типу роз'єму, що має бути встановлений на зарядній станції, в залежності від локації, швидкості зарядки, потужності ліній та пріоритетів даних факторів.

Також було надано опис технічної реалізації програмного забезпечення для розв'язання задачі багатократного оптимального покриття, що включає у себе пояснення, щодо бібліотек, які використовувалися при розробці програми, опис головних функцій та методів програми і загальний опис результатів програми. Надано детальну інструкцію користувача, в якій було надано покроковий опис дій для встановлення та запуску програми. Після чого надано приклади роботи програми при кількості зарядних станцій, що необхідно розташувати, 100, 500 та 700 одиниць. Результати були представлені на мапі України, де розташування електромобілів було позначено червоними точками, а розташування станцій для їх зарядки – синіми. Також надано частину з розрахованих координат рекомендованих для розташування станцій.

Надано опис технічної реалізації експертної системи вибору типу роз'єму для зарядної станції, а саме: опис необхідних бібліотек, правил, що використовуються для систематизації та обробки запитань і відповідей на них. Також створено детальну інструкцію користувача, що описує всі необхідні кроки для використання

програми. Викладено результати роботи програми при введені різних відповідей на запитання.

ВИСНОВКИ

В першому *інформаційно-аналітичному розділі* було описано поняття електромобіля та зарядної станції для нього, також подано їх характеристики. Викладено огляд поточного стану ринку електромобілів в Україні, а саме: динаміка та фактори зростання їх кількості, географічний розподіл та структура їх кількості. Описано поточний стан інфраструктури зарядних станцій для електромобілів, в тому числі компанії, що займаються їх розробкою, виробництвом та встановленням, і також перспективи розвитку цієї галузі. Подано поточне становище законодавства України щодо електромобілів.

Викладено опис методу TOPSIS та основні етапи виконання методу. Також розглянуто оптимізацію багатократного покриття обмеженої множини кулями, опис даного алгоритму та основні етапи. Надано опис, етапи та властивості методу аналізу ієрархій.

В другому *спеціальному розділі* було сформовано та описано постановку задачі, а саме: опис програмного забезпечення, що має виконувати поставленні задачі, мета розробки та основні етапи створення програми для розв'язання задачі багатократного оптимального покриття та експертної системи для вибору типу роз'єму, що має бути встановлений на зарядній станції, в залежності від локації, швидкості зарядки, потужності ліній та пріоритетів даних факторів.

Також було надано опис технічної реалізації програмного забезпечення для розв'язання задачі багатократного оптимального покриття, що включає у себе пояснення, щодо бібліотек, які використовувалися при розробці програми, опис головних функцій та методів програми і загальний опис результатів програми. Надано детальну інструкцію користувача, в якій було надано покроковий опис дій

для встановлення та запуску програми. Після чого надано приклади роботи програми при кількості зарядних станцій, що необхідно розташувати, 100, 500 та 700 одиниць. Результати були представлені на мапі України, де розташування електромобілів було позначено червоними точками, а розташування станцій для їх зарядки – синіми. Також надано частину з розрахованих координат рекомендованих для розташування станцій.

Надано опис технічної реалізації експертної системи вибору типу роз'єму для зарядної станції, а саме: опис необхідних бібліотек, правил, що використовуються для систематизації та обробки запитань і відповідей на них. Також створено детальну інструкцію користувача, що описує всі необхідні кроки для використання програми. Викладено результати роботи програми при введенні різних відповідей на запитання.

Таким чином, проведений аналіз та розробка програмного забезпечення для оптимізації розташування зарядних станцій та вибору типу роз'єму показали значні перспективи розвитку інфраструктури для електромобілів в Україні. Завдяки наведеним методам та аналізу ієрархій вдалося створити ефективні інструменти, які можуть суттєво покращити планування та впровадження зарядних станцій. Ці рішення сприятимуть більш раціональному використанню ресурсів, забезпечуючи зручність та доступність зарядки для користувачів електромобілів. Враховуючи поточні тенденції та законодавчі ініціативи, можна очікувати, що розвиток ринку електромобілів та відповідної інфраструктури продовжуватиметься стрімкими темпами, сприяючи екологічній та економічній вигоді для країни.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Електромобіль. URL: <https://uk.wikipedia.org/wiki/Електромобіль> (дата звернення: 18.05.2024).
2. Електромобілі в Україні. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/Електромобілі_в_Україні (дата звернення: 18.05.2024).
3. Електрокари. URL: <https://opendatabot.ua/analytics?theme=Електрокари> (дата звернення: 19.05.2024).
4. Ринок електромобілів у квітні: є перші 100 000 у парку. URL: <https://eauto.org.ua/news/528-rinok-elektromobiliv-u-kvitni-ye-pershi-100-000-u-parku> (дата звернення: 19.05.2024).
5. Електромобільна революція руками талановитих українських автомайстрів. Як піднімався український ринок уживаних електромобілів за рахунок експорту з Північної Америки: погляд Wired. URL: <https://forbes.ua/business/elektromobilna-revolyuetsiya-rukami-talanovitikh-ukrainskikh-avtomaystriv-yak-pidnimavsya-ukrainskiy-rinok-uzhivanikh-elektromobiliv-za-rakhunok-eksportu-z-pivnichnoi-ameriki-poglyad-wired-20112023-17387> (дата звернення: 21.05.2024).
6. Як розвивається ринок електромобілів: зібрали усе, що потрібно знати бізнесу. URL: https://hub.kyivstar.ua/articles/yak-rozvivayetsya-rinok-elektromobiliv-zibrali-use-shho-potribno-znati-biznesu?utm_source=Facebook&utm_medium=social&utm_campaign=hub_yak-rozvivayetsya-rinok-elektromobiliv-zibrali-use-shho-potribno-znati-biznesu_2305&utm_content=post&fbclid=IwZXh0bgNhZW0CMTEAAR1e7m0zFtUOLJyOtt19FFaOxEohoRUNET-7srFukBMroZ_XrakqKFetkS4_aem_AdYszOuoaBk0Hx5QBik8zp3dDgusWFR1iRbuy

[Fz1PXbNNOxSogdWwYPwkDcr16-IZHIUJoE2KeXiT9SvtFQFppS9](https://business.diia.gov.ua/idea/energetika/zaradka-dla-elektromobilej) (дата звернення: 23.05.2024).

7. Зарядка для електромобілів. URL: <https://business.diia.gov.ua/idea/energetika/zaradka-dla-elektromobilej> (дата звернення: 23.05.2024).

8. EcoFactor. URL: <https://ecofactor.ua/> (дата звернення: 24.05.2024).

9. AutoEnterprise. URL: <https://autoenterprise.ua/> (дата звернення: 24.05.2024).

10. ОСТА. URL: <https://www.octa.energy/> (дата звернення: 24.05.2024).

11. Відгуки про E-Line. URL: <https://faraday.in.ua/vidhuky/e-line-otzyvy/> (дата звернення: 24.05.2024).

12. Відгуки про GreenFuel. URL: <https://faraday.in.ua/vidhuky/greenfuel-otzyvy/> (дата звернення: 24.05.2024).

13. ChargeX. URL: <https://chargex.net/> (дата звернення: 24.05.2024).

14. ЕЛМІЗ. URL: <http://www.elmiz.com/> (дата звернення: 25.05.2024).

15. Elecar Group. URL: <https://elecargroup.com.ua/> (дата звернення: 26.05.2024).

16. Укргазвидобування. URL: <https://ugv.ua/uk/> (дата звернення: 28.06.2024).

17. Закон України «Про деякі питання використання транспортних засобів, оснащених електричними двигунами, та внесення змін до деяких законів України щодо подолання паливної залежності і розвитку електрзарядної інфраструктури та електричних транспортних засобів», із змінами, внесеними згідно із Законом № 3220-IX від 30.06.2023

18. Kyrylo Nebatov, Shevchenko Y. O. System analysis as a direction in the study of control processes. <http://ir.nmu.org.ua/handle/123456789/164332>

19. Geonames-UA. URL: <https://github.com/gontsa/geonames-ua/tree/main>
(дата звернення: 15.06.2024).

20. Geo Boundaries World. URL: <https://github.com/datasets/geo-boundaries-world-110m/blob/master/countries.geojson> (дата звернення: 19.06.2024).

ДОДАТОК А. ВІДОМІСТЬ МАТЕРІАЛІВ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

№ з/п	Позначення				Найменування	Кількість аркушів	Примітки		
1									
2					Документація				
3									
4	САУ.КР.УУ.ΖΖ.ΠΖ				Пояснювальна записка	N1	Формат А4		
5									
6					Демонстраційний матеріал	N2	Презентація на CD-R		
7									
8					Копія роботи	1	Диск CD-R		
9									
10									
11									
12									
13									
14									
15									
16									
17									
18									
					САУ.КР.УУ.ΖΖ.ДА.ΠΖ.				
Змін.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата					
Розроб.		ПІБ			Матеріали кваліфікаційної роботи	Літ.	Аркуш	Аркушів	
К. розд.		ПІБ							
Керівн.		ПІБ				НТУ «ДП», 12; 124-20-1			
Н.контр.		ПІБ							
Зав. каф.		ПІБ							

Запис **САУ.КР.УУ.ΖΖ.ΠΖ** означає наступне:

САУ – код випускаючої кафедри;

КР – кваліфікаційна робота;

N1 – загальна кількість сторінок пояснювальної записки кваліфікаційної роботи з додатками;

N2 – кількість аркушів демонстраційного матеріалу (слайдів презентації);

УУ – рік захисту кваліфікаційної роботи в ЕК (наприклад “22”);

ΖΖ – номер теми студента в наказі про затвердження теми кваліфікаційної роботи (наприклад “06”);

ΠΖ – пояснювальна записка;

ДА – додаток А;

12 – код галузі «Інформаційні технології».

ДОДАТОК Б. ВІДГУК КЕРІВНИКА КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

Відгук на кваліфікаційну роботу бакалавра студентки групи 124 –20– 1 спеціальності 124 Системний аналіз

Тема кваліфікаційної роботи: Системний аналіз та розрахункова оптимізація розміщення зарядних станцій для електромобілів у умовах розвитку інфраструктури України

Обсяг кваліфікаційної роботи: 72 стор.

Мета кваліфікаційної роботи: _____

Актуальність теми _____

Тема кваліфікаційної роботи безпосередньо пов'язана з об'єктом діяльності бакалавра спеціальності 124 Системний аналіз, оскільки _____

Виконані в кваліфікаційній роботі завдання відповідають вимогам ступеня бакалавра. Оригінальність наукових рішень полягає в _____

Практичне значення результатів кваліфікаційної роботи полягає в _____

Висновки підтверджують можливість використання результатів роботи в _____

Оформлення пояснювальної записки та демонстраційного матеріалу до неї виконано згідно з вимогами. Роботу виконано самостійно, відповідно до завдання та у повному обсязі (*в разі невідповідності – вказати*)

У роботі відзначено такі недоліки: _____

Кваліфікаційна робота в цілому заслуговує оцінки: _____

З урахуванням висловлених зауважень автор (не) заслуговує присвоєння освітньої кваліфікації «бакалавр з системного аналізу».

Керівник кваліфікаційної роботи бакалавра,
науковий ступінь, вчене звання, посада _____

/ ПІБ

ДОДАТОК В. РЕЦЕНЗІЯ

Рецензія
на кваліфікаційну роботу бакалавра
 студентки групи 124 –20–1
 спеціальності 124 Системний аналіз

Тема кваліфікаційної роботи: Системний аналіз та розрахункова оптимізація розміщення зарядних станцій для електромобілів у умовах розвитку інфраструктури України

Обсяг кваліфікаційної роботи: 72 стор.

Висновок про відповідність кваліфікаційної роботи завданню та освітньо-професійній програмі спеціальності _____

Загальна характеристика кваліфікаційної роботи, ступінь використання нормативно-методичної літератури та передового досвіду

Позитивні сторони кваліфікаційної роботи:

Основні недоліки кваліфікаційної роботи:

Кваліфікаційна робота в цілому заслуговує оцінки: _____

З урахуванням висловлених зауважень автор (не) заслуговує присвоєння освітньої кваліфікації «бакалавр з системного аналізу».

Рецензент,
 науковий ступінь, вчене звання, посада _____ / ПІБ

ДОДАТОК Г

```

import re
import pandas as pd
import numpy as np
from shapely.geometry import Point
import geopandas as gpd
import matplotlib.pyplot as plt
import os
from sklearn.cluster import KMeans

def convert_to_decimal(coord):
    """Convert coordinates from DMS (degrees, minutes, seconds) format to decimal
    format."""
    if pd.isna(coord):
        return None

    match = re.match(r'[NS] (\d+)°(\d+)\'(\d+)\"', coord) or re.match(r'[EW]
(\d+)°(\d+)\'(\d+)\"', coord)
    if not match:
        return None

    degrees = float(match.group(1))
    minutes = float(match.group(2))
    seconds = float(match.group(3))

    decimal = degrees + minutes / 60 + seconds / 3600
    if 'S' in coord or 'W' in coord:
        decimal = -decimal

    return decimal

# Папка, де зберігаються файли з географічними даними населених пунктів областей
України
folder_path = 'data' # Папка з файлами

# Створення порожнього GeoDataFrame
gdf_points = gpd.GeoDataFrame()

# Дані про кількість електромобілів у кожній області
electrocar_data = {
    'Черкаська обл.': 1640,
    'Чернігівська обл.': 266,
    'Чернівецька обл.': 1084,
    'Дніпропетровська обл.': 3092,
    'Донецька обл.': 426,
    'Івано-Франківська обл.': 1470,
    'Харківська обл.': 1804,
    'Хмельницька обл.': 1450,
    'Кіровоградська обл.': 494,
    'Київська обл.': 7625,
    'Луганська обл.': 119,
    'Львівська обл.': 5133,
    'Миколаївська обл.': 490,
    'Одеська обл.': 3412,
    'Полтавська обл.': 1139,

```

```

    'Рівненська обл.': 1563,
    'Сумська обл.': 397,
    'Тернопільська обл.': 1630,
    'Вінницька обл.': 876,
    'Волинська обл.': 595,
    'Закарпатська обл.': 1123,
    'Запорізька обл.': 624,
    'Житомирська обл.': 1450,
}

# Завантаження даних країн
url = 'https://raw.githubusercontent.com/datasets/geo-boundaries-world-110m/master/countries.geojson'
world = gpd.read_file(url)

# Фільтрація для України за різними ідентифікаторами ISO
ukraine = world[(world['iso_a3'] == 'UKR') | (world['adm0_a3_is'] == 'UKR')]

# Отримання полігонів кордонів України
ukraine_polygon = ukraine.geometry.values[0]

# Ітерація по файлам у папці
for filename in os.listdir(folder_path):
    if filename.endswith('.csv'): # Перевірка на розширення файлу
        filepath = os.path.join(folder_path, filename)
        # Зчитуємо файл як DataFrame
        df = pd.read_csv(filepath, delimiter=';')

        # Перетворення координат
        df['lat'] = df['Широта'].apply(convert_to_decimal)
        df['lon'] = df['Довгота'].apply(convert_to_decimal)

        # Фільтрація рядків з невизначеними координатами
        df = df.dropna(subset=['lat', 'lon'])

        # Створення точок
        points = [Point(lon, lat) for lon, lat in zip(df['lon'], df['lat'])]

        # Отримання кількості електромобілів для поточної області
        region = df['Адміністративно-територіальна одиниця (АР Крим,
область)'].iloc[0]
        num_electrocars = electrocar_data.get(region, 0)
        num_points = max(1, int(num_electrocars / 10)) # Кількість точок, мінімум
1

        # Генерація випадкових точок
        if points:
            valid_points = [point for point in points if
ukraine_polygon.contains(point)]
            if valid_points:
                df_sample = pd.DataFrame({'geometry':
np.random.choice(valid_points, size=num_points)})

                # Створюємо GeoDataFrame з випадковими точками
                gdf_sample = gpd.GeoDataFrame(df_sample, geometry='geometry')

                # Додаємо інші властивості, які можуть бути потрібні для подальшого
аналізу

```

```

gdf_sample['region'] = region

# Додаємо до загального GeoDataFrame
gdf_points = pd.concat([gdf_points, gdf_sample], ignore_index=True)

# Отримання координат точок для електромобілів
coords = np.array([(point.y, point.x) for point in gdf_points.geometry])

# Використання K-Means для кластеризації точок
num_stations = 700 # Кількість зарядних станцій
kmeans = KMeans(n_clusters=num_stations, random_state=0).fit(coords)
centroids = kmeans.cluster_centers_

# Створення GeoDataFrame для центрів
gdf_stations = gpd.GeoDataFrame(geometry=[Point(lon, lat) for lat, lon in
centroids])

# Візуалізація на карті України
fig, ax = plt.subplots(figsize=(10, 10))
ukraine.plot(ax=ax, color='lightblue', edgecolor='black')
gdf_points.plot(ax=ax, markersize=10, color='red', alpha=0.5,
label='Електромобілі')
gdf_stations.plot(ax=ax, markersize=25, color='blue', alpha=0.8, label='Зарядні
станції')
plt.title('Розташування електромобілів та оптимальні місця для зарядних станцій')
plt.xlabel('Довгота')
plt.ylabel('Широта')
plt.legend()
plt.show()

# Вивід результатів
print("Локації для зарядних станцій:")
for index, row in gdf_stations.iterrows():
    print(f"Координати: ({row.geometry.y:.6f}, {row.geometry.x:.6f})")

```


ДОДАТОК Д

```

from experta import *

class EVChargingStationExpertSystem(KnowledgeEngine):
    def __init__(self):
        super().__init__()
        self.answers = {}

    @DefFacts()
    def _initial_action(self):
        yield Fact(action="find_connector_type")

    @Rule(Fact(action='find_connector_type'))
    def ask_questions(self):
        self.answers['location'] = input("Введіть вашу локацію (область): ")
        self.answers['budget'] = input("Введіть ваш бюджет (низький/середній/високий): ")
        self.answers['speed_preference'] = input("Введіть вашу перевагу за швидкістю зарядки (повільна/середня/швидка): ")
        self.answers['line_capacity'] = input("Введіть потужність лінії (низька/середня/висока): ")
        self.answers['priority_budget'] = int(input("Введіть пріоритет бюджету (1-5): "))
        self.answers['priority_speed'] = int(input("Введіть пріоритет швидкості зарядки (1-5): "))
        self.answers['priority_line_capacity'] = int(input("Введіть пріоритет потужності лінії (1-5): "))

        self.declare(Fact(location=self.answers['location']))
        self.declare(Fact(budget=self.answers['budget']))
        self.declare(Fact(speed_preference=self.answers['speed_preference']))
        self.declare(Fact(line_capacity=self.answers['line_capacity']))
        self.declare(Fact(priority_budget=self.answers['priority_budget']))
        self.declare(Fact(priority_speed=self.answers['priority_speed']))

self.declare(Fact(priority_line_capacity=self.answers['priority_line_capacity']))

    def calculate_score(self, location, budget, speed_preference, line_capacity, priority_budget, priority_speed, priority_line_capacity):
        score = 0

        location_scores = {
            "Київська": 9, "Львівська": 8, "Одеська": 7, "Дніпропетровська": 7,
            "Харківська": 6, "Черкаська": 5, "Тернопільська": 5, "Рівненська": 5,
            "Івано-Франківська": 4, "Хмельницька": 4, "Житомирська": 4,
            "Полтавська": 3,
            "Закарпатська": 3, "Чернівецька": 3, "Вінницька": 2, "Запорізька": 2,
            "Волинська": 2, "Кіровоградська": 2, "Миколаївська": 2, "Донецька": 2,
            "Сумська": 1, "Чернігівська": 1, "Луганська": 1,
        }
        budget_scores = {"низький": 3, "середній": 6, "високий": 9}
        speed_scores = {"повільна": 3, "середня": 6, "швидка": 9}
        line_capacity_scores = {"низька": 3, "середня": 6, "висока": 9}

        score += location_scores.get(location, 0)

```

```

    score += budget_scores.get(budget, 0) * priority_budget
    score += speed_scores.get(speed_preference, 0) * priority_speed
    score += line_capacity_scores.get(line_capacity, 0) *
priority_line_capacity

    return score

@Rule(Fact(action='find_connector_type'),
      Fact(location=MATCH.location),
      Fact(budget=MATCH.budget),
      Fact(speed_preference=MATCH.speed_preference),
      Fact(line_capacity=MATCH.line_capacity),
      Fact(priority_budget=MATCH.priority_budget),
      Fact(priority_speed=MATCH.priority_speed),
      Fact(priority_line_capacity=MATCH.priority_line_capacity))
def suggest_connector(self, location, budget, speed_preference, line_capacity,
                     priority_budget, priority_speed, priority_line_capacity):
    score = self.calculate_score(location, budget, speed_preference,
line_capacity,
                               priority_budget, priority_speed,
priority_line_capacity)

    if score > 180:
        connector_type = 'CCS'
    elif score > 120:
        connector_type = 'CHAdeMO'
    elif score > 80:
        connector_type = 'Type 2'
    else:
        connector_type = 'Type 1'

    self.declare(Fact(connector_type=connector_type))

@Rule(Fact(connector_type=MATCH.connector_type))
def show_suggestion(self, connector_type):
    print(f"Рекомендованный тип роз'єму: {connector_type}")

if __name__ == "__main__":
    engine = EVChargingStationExpertSystem()
    engine.reset()
    engine.run()

```