

Міністерство освіти і науки України  
Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет Комп'ютерної інженерії та управління  
(повна назва)

Кафедра Автоматизації проектування обчислювальної техніки  
(повна назва)

## АТЕСТАЦІЙНА РОБОТА Пояснювальна записка

рівень вищої освіти другий (магістерський)  
(рівень вищої освіти)

Енергозбереження в системі живлення електротранспортних засобів

(тема)

Виконав: студент 2 курсу, групи СКСм-18-1  
Куликівська.Ю.С.  
(прізвище, ініціали)

Спеціальність 123 – Комп'ютерна інженерія  
(код і повна назва спеціальності)

Тип програми Освітньо-професійна

(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Освітня програма \_\_\_\_\_

Спеціалізовані комп'ютерні системи

(повна назва освітньої програми)

Керівник проф. Чумаченко С.В.  
(посада, прізвище, ініціали)

Консультант проф. Немченко В.П.  
(посада, прізвище, ініціали)

Допускається до захисту

Зав. кафедри \_\_\_\_\_

(підпис)

Чумаченко С.В.

(прізвище, ініціали)

2019 р.

Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет \_\_\_\_\_ Комп'ютерної інженерії та управління \_\_\_\_\_  
Кафедра \_\_\_\_\_ Автоматизації проектування обчислювальної техніки \_\_\_\_\_  
Рівень вищої освіти \_\_\_\_\_ другий (магістерський) \_\_\_\_\_  
Спеціальність \_\_\_\_\_ 123 – Комп'ютерна інженерія \_\_\_\_\_  
Тип програми \_\_\_\_\_ Освітньо-професійна \_\_\_\_\_  
Освітня програма \_\_\_\_\_ Спеціалізовані комп'ютерні системи \_\_\_\_\_  
(повна назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедри \_\_\_\_\_  
(підпис)

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20 \_\_\_\_ р.

**ЗАВДАННЯ  
НА АТЕСТАЦІЙНУ РОБОТУ**

студентові \_\_\_\_\_ Куликівській Юлії Сергіївні \_\_\_\_\_  
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи \_\_\_\_\_ Енергозбереження в системі живлення  
електротранспортних засобів \_\_\_\_\_

затверджена наказом по університету від 04 листопада 2019 р. № 1624 Ст 2. Термін  
подання студентом роботи до екзаменаційної комісії 12 грудня 2019 р.

3. Вихідні дані до роботи \_\_\_\_\_  
Електричний транспортний засіб \_\_\_\_\_

Об'єднана електроенергетична система (ОЕС) України  
Енергозбереження  
V2G-VEHICLE TO GRID \_\_\_\_\_

4. Перелік питань, що потрібно опрацювати в роботі \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_ Аналіз існуючих методів енергозбереження \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_ Аналіз економічної та юридичної підстави системи електропостачання та  
електроспоживання в Україні для впровадження системи енергозбереження \_\_\_\_\_

Переваги та недоліки електричних транспортних засобів

Вирішення проблеми пікового попиту

Алгоритми планування зарядки з метою мінімізації пікового навантаження

Функціональна схема

Спроекувати систему оптимізації електроспоживання під час зарядки електронних транспортних засобів в цілому

5. Перелік графічного матеріалу із зазначенням креслеників, схем, плакатів, комп'ютерних ілюстрацій (слайдів)

27 слайдів

6. Консультанти розділів роботи (п.6 включається до завдання за наявності консультантів згідно з наказом, зазначеним у п.1 )

Найменування розділу	Консультант (посада, прізвище, ім'я, по батькові)	Позначка консультанта про виконання розділу	
		підпис	дата

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів роботи	Терміни виконання етапів	Примітка
1	Отримання завдання	роботи 03.09.2019 - 07.09.2019	
2	Аналіз предметної області	11.09.2019-21.09.2019	
3	Аналіз джерел з проблемної галузі	25.09.2019-05.10.2019	
4	Вибір IoT-технології	08.10.2019-19.10.2019	
5	Вирішення проблеми пікового попиту	22.10.2019-02.11.2019	
6	Розробка користувальницького інтерфейсу та Swagger/API специфікації	05.11.2019-16.11.2019	
7	Проведення тестування	19.11.2019-30.11.2019	
8	Оформлення пояснювальної записки	03.12.2019-14.12.2019	
9	Оформлення графічного матеріалу	17.12.2019-28.12.2019	
10	Перевірка виконаного проекту керівником	02.01.2019-04.01.2019	

Дата видачі завдання 03 вересня 2019 р.

Студент \_\_\_\_\_  
(підпис)

Керівник роботи \_\_\_\_\_ Чумаченко С.В.  
(підпис) (посада, прізвище, ініціали)

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка містить 87 сторінок, 39 рисунків, 3 таблиці, 46 джерел за переліком посилань.

ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТНИЙ ЗАСІБ, ЗАРЯДНА СТАНЦІЯ,  
РЕЖИМ ЗАРЯДКИ, ВІДХИЛЕННЯ НАПРУГИ, INTERNET OF THINGS,

# ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ, ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ, МІНІМІЗАЦІЯ ПІКОВОГО НАВАНТАЖЕННЯ, V2G-VEHICLE TO GRID

Метою роботи є розробка алгоритму планування зарядки з метою мінімізації пікового навантаження і проектування системи оптимізації електроспоживання під час зарядки електронних транспортних засобів.

У роботі проведено аналіз існуючих методів енергозбереження, проаналізовано економічну та юридичну підставу системи електропостачання та електроспоживання в Україні для впровадження системи енергозбереження, розглянуті системи енергоспоживання зі світовими системами і їх показниками, наведені статистичні дані і підібрані технології для подальшої розробки. Запропоновано два алгоритми планування зарядки з метою мінімізації пікового навантаження. Розклади, створені за допомогою запропонованих алгоритмів, були протестовані і перевірені в симуляторі від PowerFactory, платформі для аналізу систем електроживлення. В результаті була спроектована система оптимізації електроспоживання під час зарядки електронних транспортних засобів в цілому.

## ABSTRACT

Master's thesis contains 87 pages, 39 figures, 3 tables, 46 sources under the list of references.

ELECTRIC VEHICLE CHARGING STATION, CHARGING MODE, VOLTAGE DEVIATIONS, INTERNET OF THINGS, ENERGY CONSERVATION, ENERGY EFFICIENCY, LOAD PEAK MINIMIZATION, V2G-VEHICLE TO GRID

The purpose of the work is to develop a charging scheduling algorithm to minimize peak load and to design a system for optimizing power consumption when charging electronic vehicles.

This paper analyzes the existing methods of energy saving, analyzes the economic and legal basis of the electricity supply and electricity system in Ukraine for the implementation of the energy saving system, examines the energy systems with world systems and their indicators, presents statistics and selected technologies for further development. Two charging scheduling algorithms are proposed to minimize peak load. The schedules created using the proposed algorithms have been tested and validated in a simulator from PowerFactory, a platform for analyzing power systems. As a result, a system for optimizing power consumption during charging of electronic vehicles as a whole was designed.

## ЗМІСТ

ЗМІСТ	6
ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ	9
ВСТУП	11
1 ЕЛЕКТРОТРАНСПОРТНИЙ ЗАСІБ – ЧАСТИНА ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ	15
1.1 Джерела електроенергії	16
1.2 Зарядка електромобіля	19
1.3 Переваги та недоліки електричних транспортних засобів	23
1.3.1 Екологічність	23
1.3.2 Енергоефективність	24
1.3.3 Вартість зарядки	25
1.3.4 Стабілізація сітки	25
1.3.5 Дальність поїздки	26

2 ЕЛЕКТРОМОБІЛІ В ОЕС УКРАЇНИ ТА ЇЇ СТАН	26
2.1 Структура енергосистеми України	27
2.2 Зарядні станції для електромобілів у розподільчій мережі	28
2.3 Обсяги споживання та виробництва електроенергії	30
2.4 Двוזонний і трьохзонний облік електроенергії в Україні	33
2.5 Закономірності еластичності попиту і платіжної дисципліни	35
2.6 Економічні механізми управління попитом	36
3 ПРОПОНОВАНИЙ ПРОГРАМНО-АПАРАТНИЙ КОМПЛЕКС	37
3.1 Вибір IoT-технології	40
3.2 Структура системи	42
3.3 Мікроконтролер	49
3.4 Методика та запропоновані алгоритми	52
3.4.1 Методика	52
3.4.2 Вирішення проблеми пікового попиту	55
3.4.3 Системні обмеження	57
3.4.4 “Жадібний” алгоритм	58
3.4.5 Евристичний алгоритм	59
3.4.6 Реалізація алгоритму	61
3.5 Swagger/API специфікація та розробка користувальницького інтерфейсу додатку	63
3.5.1 Моделі електротранспортних засобів	64
3.5.1.1 Список електротранспортних засобів користувача	64
3.5.1.2 Додання та видалення електротранспортного засобу	67
3.5.1.3 Оновлення інформації про електротранспортний засіб	69
3.5.2 Базова інформація про пристрій та користувача	71
3.5.3 Зарядка та планування	71
4 МОДЕЛЮВАННЯ ТА СИМУЛЮВАННЯ СИСТЕМИ	75
ВИСНОВКИ	80
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ	83

ДОДАТОК А      **Ошибка! Закладка не определена.** ДОДАТОК Б      **Ошибка!**  
Закладка не определена. ДОДАТОК В      **Ошибка! Закладка не определена.**



ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ,  
СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

EV – електричний транспортний засіб;

CCS – (Combined Charging System) система зарядки електромобілів;

CHAdeMO – торгова назва методу швидкої зарядки для акумуляторних електричних транспортних засобів, що забезпечують до 62,5 кВт на 500 В, 125 А постійного струму через спеціальний електричний роз'єм;

V – (V) одиниця вимірювання електричної напруги, електрорушійної сили та різниці потенціалів в системі SI;

A – одиниця вимірювання сили електричного струму в системі SI;

V2G – (Vehicle-to-grid) концепція двостороннього використання електротранспортних засобів, що передбачає підключення машини в загальну електричну мережу для підзарядки автомобіля з можливістю видачі електроенергії назад в мережу для участі в управлінні попитом на електроенергію;

IoT – Internet of Things, Інтернет речей;

iOS – власницька мобільна операційна система від Apple;

Android – операційна система і платформа для мобільних телефонів та планшетних комп'ютерів, створена компанією Google на базі ядра Linux;

Smart Grids – інтелектуальні мережі;

Micro Grids – мікромережі;

ОЕС – об'єднана електроенергетична система;

ВДЕ – вітрові електростанції (поновлювані джерела енергії);

НКРЕКУ – національна комісія, яка здійснює державне регулювання у сфері енергетики і комунальних послуг;

WPA – (Wi-Fi Protected Access) являє собою оновлену програму сертифікації бездротового зв'язку;

SPI – (Serial Peripheral Interface, SPI bus) послідовний периферійний інтерфейс, фактичний послідовний синхронний повнодуплексний стандарт передачі даних;

Мікроконтролер – однокристальна мікроЕОМ, виконана у вигляді мікросхеми спеціалізована мікропроцесорна система, що включає мікропроцесор, блоки пам'яті для збереження коду програм і даних, порти вводу-виводу і блоки зі спеціальними функціями;

SaaS – (Software as a service) програмне забезпечення як послуга, модель поширення програм споживачам, при якій постачальник розробляє вебпрограму, розміщує її й управляє нею з метою використання її замовниками через інтернет;

PaaS – (Platform as a service) платформа як послуга, модель надання хмарних обчислень, при якій споживач отримує доступ до використання інформаційно-технологічних платформ;

IaaS – (Infrastructure as a service) інфраструктура як послуга, модель обслуговування, в межах якої споживачу надається можливість керувати засобами обробки та збереження, комунікаційними мережами, та іншими фундаментальними обчислювальними ресурсами, на базі яких споживач може розгортати та виконувати довільне програмне забезпечення, до складу якого можуть входити операційні системи та прикладні програми;

MQTT – (Message Queue Telemetry Transport) спрощений мережевий протокол, що працює на TCP / IP;

TCP/IP – набір протоколів мережі Інтернет.

## ВСТУП

Проблема енергозбереження на межі тисячоліть перетворилась в одну з найважливіших загальнолюдських проблем. Раціональне та економне використання природних ресурсів, скорочення шкідливих викидів в атмосферу та ефективне використання електричної та теплової енергії набувають виключно важливого значення у сучасному суспільстві.

Україна задовольняє свої потреби в природних енергоресурсах за рахунок власного їх видобутку приблизно на 45%. У більшості країн світу рівень енергетичної самозабезпеченості такий самий або нижчий.

Проблема полягає в іншому – неприпустимо низькій ефективності використання паливно-енергетичних ресурсів. Енергоемність валового внутрішнього продукту (ВВП) в Україні в 3-5 разів вища, ніж в економічно розвинених державах. Цей показник в нашій державі становить 0,93 кг у.п./дол. США, для порівняння – у Австрії дорівнює 0,21 кг у.п./дол., середній показник у світі – 0,39 кг у.п./дол. США. Така ситуація є слідством деформованої структури виробництва та енергоспоживання, використання застарілих виробничих енергетичних фондів, повільного впровадження енергозберігаючих заходів та технологій, а також ряду інших причин. Крім того, слід зазначити неякісність нормативно-правової бази у цій сфері.

Необхідність підвищення рівня енергетичної безпеки є одним з головних завдань нашої держави на сучасному етапі її соціально-економічного розвитку.

В умовах значної залежності економіки України від імпорту енергоносіїв цей напрям державної економічної політики є не менш важливим, ніж збільшення обсягів власного видобутку (виробництва) енергетичних ресурсів. Енергозбереження є не тільки вирішальним, але й найдешевшим джерелом задоволення потреб господарського комплексу в енергоносіях, адже питомі капітальні витрати в енергозбереження значно нижчі від витрат у збільшення видобутку та виробництва енергоносіїв.

Енергозбереження – заходи, спрямовані на заощадження теплової та електричної енергії, а також використання альтернативних джерел енергії. Використовуючи різні джерела енергії та технології, можливо по-різному досягати корисного ефекту (зменшення втрат енергії при її перетворенні та зниження негативного впливу споживання енергії на довкілля)[1].

Головним пріоритетом реалізації політики енергозбереження є досягнення максимальної ефективності використання паливно-енергетичних ресурсів при існуючій структурі промислового виробництва, а також зменшення шкідливого впливу на довкілля.

Основні напрямки енергозбереження:

- зменшення споживання імпортованих енергоносіїв;
- впровадження новітніх енергозберігаючих, екологічно

чистих технологій;

- більш ефективного обладнання і приладів та удосконалення існуючих;
- використанням енергозберігаючих освітлювальних приладів та автоматизованих систем управління;
- модернізація систем тепlopостачання;
- впровадження енергозберігаючих освітлювальних приладів у бюджетній сфері з метою скорочення споживання електричної енергії;
- використання нетрадиційних та відновлюваних джерел енергії;
- впровадження технологій електроопалення; – популяризація енергозбереження.

Енергозбереження – це безліч різних заходів, в сукупності які повинні привести до загального зменшення споживання енергії від зовнішніх джерел, що важливо в економічному і екологічному плані, оскільки зменшиться кількість шкідливих викидів і відходів. Найбільш ефективне рішення

проблеми досягається шляхом поєднання різних чинників – людського, технічного, організаційного[1].

Кожній людині слід знати, що вона здатна зробити внесок у процес енергозбереження хоча б у тому, що вимкне непотрібний на даний момент електричний прилад або змінить його на менш потужний. Заходи з енергозбереження в домашніх умовах, природно, не носять глобального характеру, кожен домовласник сам регулює споживання енергії в своєму приміщенні, проте в сукупності це мільйони домогосподарств, які споживають чималу кількість енергії. У продажу вже давно з'явилися енергозберігаючі лампи, які стоять хоч і дорожче звичайних, але служать у рази довше і споживають енергії на 80% менше. Більшість людей вживає заходів, щоб заощадити на оплаті комунальних послуг, і мало хто замислюється про проблему в цілому.

В останні роки електромобілі отримали надзвичайний розвиток у багатьох країнах світу завдяки своїм перевагам щодо енергозбереження та високої ефективності. Зі збільшенням використання житлової парковки із зарядними станціями для електромобіля, заряд електромобіля впливає на планування і експлуатацію житлової розподільної системи, а це призведе до збільшення вироблення електричної енергії енергопідприємствами, що в свою чергу – на екологічний стан планети. [2]

В атестаційній роботі розглядаються існуючі проблеми пов'язані з оптимізацією електроспоживання, економічні та юридичні підґрунтя системи електропостачання та електроспоживання в Україні (порівняння зі світовими системами та їх показниками – наводяться статистичні дані), проектується система оптимізації електроспоживання під час зарядки електромобілів.

Метою проекту – є ознайомлення з предметною галуззю, світовими тенденціями, та вибір технологій для подальшого дослідження режиму живлення пристроїв зарядки електромобілів в житлових районах та розробки системи оптимізації електроспоживання під час зарядки електромобілів.

Система, яку потрібно буде розробити, повинна мати можливість віддалено дізнатися про стан акумулятора, увімкнути/вимкнути подачу живлення, встановити потрібний режим економії електроенергії (отже й коштів), як у “звичайному режимі”, так і у “режимі подорожі”. У “режимі подорожі” система повинна будувати маршрут до найближчої заправки і в режимі реального часу розраховувати кількість часу до повної заправки, ґрунтуючись на отриманих даних. Крім цього, система матиме усі необхідні статистичні дані, у яких буде просто орієнтуватися. Система може бути розширена та застосована до усіх приладів як у побуті так і на виробництві.

Це допоможе заощадити на оплаті комунальних послуг та зменшити кількість викидів CO<sub>2</sub> та інших шкідливих речовин у атмосферу, що у свою чергу буде сприяти збереженню екосистеми.

## 1 ЕЛЕКТРОТРАНСПОРТНИЙ ЗАСІБ – ЧАСТИНА ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ

За останні кілька десятиліть еволюція міського транспорту прискорила, що, в свою чергу, прискорило зростання суспільства і промисловості. Оскільки батарея є широко використовуваним пристроєм для зберігання енергії, обчислення статусу заряду грає життєво важливу роль в майбутньому [3]. В даний час транспортні засоби необхідні в повсякденному житті, а також для промислового використання. Додаються достатні зусилля для виведення двигунів внутрішнього згорання за допомогою електродвигунів [4]. У зв'язку зі збільшенням викидів вуглекислого газу (CO<sub>2</sub>) в промисловості і на транспорті було підписано Кіотський договір. Цей договір був спрямований на зниження рівня CO<sub>2</sub> і сприяв розширенню результатів пошуку нових екологічно чистих енергетичних рішень. Як відкриття, електричні транспортні засоби (EVS) з'явилися в якості рішення для скорочення викидів CO<sub>2</sub>. Електромобілі ростуть з кожним днем по всьому світу [5].

Електричний транспортний засіб (далі – EV), використовує один або більше електродвигунів або тягових двигунів для руху. Електричний транспортний засіб може працювати через колекторну систему електроенергією з джерел поза транспортним засобом, або може бути автономним з батареєю, сонячними батареями або електричним генератором для перетворення палива на електрику.[6] Електромобілі включають, але не обмежуються, дорожні та залізничні транспортні засоби, поверхневі та підводні судна, електричні літаки та електричні космічні кораблі.

EVs вперше з'явилися в середині 19-го століття, коли електроенергія була одним з кращих методів для руху двигуна, забезпечуючи рівень комфорту та простоти експлуатації, які не могли бути досягнуті бензиновими автомобілями того часу. Сучасні двигуни внутрішнього згорання були

домінуючим способом для двигунів для автотранспорту майже 100 років, але електроенергія залишається звичайним явищем в інших типах транспортних засобів, таких як поїзди та невеликі транспортні засоби всіх типів.

У ХХІ столітті спостерігали за відродженням завдяки технологічним розробкам і підвищенню уваги до відновлюваної енергії. Величезний попит на електричні транспортні засоби, що розробляються, і невелике ядро інженерів-виконавців почали обмінюватися технічними деталями для перетворення електричних транспортних засобів. Були запроваджені урядові стимули для збільшення прийомів, у тому числі в США та Європейському Союзі. [7]

### 1.1 Джерела електроенергії

Зарядка електричним транспортним засобом (EV) є важливим аспектом володіння електричним транспортним засобом. Є три основні типи зарядки EV – експрес, швидкий та повільний. Вони представляють вихідні потужності і, отже, швидкості зарядки, доступні для зарядки електромобіля. Зауважимо, що потужність вимірюється в кіловатах (кВт).

Кожен тип зарядного пристрою має відповідний набір роз'ємів, призначених для низького або високого енергоспоживання, а також для зарядки змінного або постійного струму. У наступних розділах наведено докладний опис трьох основних типів зарядних точок та різних доступних роз'ємів [8].

Експрес зарядні пристрої є двох типів – змінного і постійного струму. Поточні зарядні пристрої з експрес зарядкою змінного струму розраховані на потужність 43 кВт, тоді як більшість пристроїв з експрес зарядкою постійного струму мають потужність не менше 50 кВт. Обидва будуть заряджати більшість електромобілів до 80% за 30-60 хвилин (залежно від ємності акумулятора). Tesla Superchargers також з експрес зарядкою постійного струму і зарядом близько 120 кВт. Пристрої з експрес зарядкою змінного струму



використовують приєднаний роз'єм типу 2, а зарядні пристрої з експрес зарядкою постійного струму оснащені CCS, CHAdeMO або Tesla Type 2 (рис. 1.1).



Рисунок 1.1 – Профілі роз'ємів для експрес зарядних пристроїв [8]

Швидкі зарядні пристрої включають ті, які забезпечують потужність 7кВт – 22 кВт, які зазвичай повністю заряджають електропровід протягом 34 годин. Загальні швидкі роз'єми – це приєднаний роз'єм типу 1 або тип 2 (через з'єднувальний кабель, що постачається разом із автомобілем) (рис.1.2).



Рисунок 1.2 – Профілі роз'ємів для швидких зарядних пристроїв [8]

Зарядні пристрої фірми Tesla забезпечують 11 або 22 кВт потужності, але, як і мережа Supercharger, призначені тільки для використання моделями Tesla. Tesla надає деякі стандартні зарядні пристрої типу 2 у багатьох місцях призначення, і вони сумісні з будь-якою моделлю плагіна, використовуючи правильний кабель.

Більшість повільно зарядних пристроїв розраховані на потужність до 3 кВт, а деякі зарядні пристрої мають потужність 6 кВт. Час зарядки змінюється залежно від зарядного пристрою та заряджання EV, але повне зарядження на 3 кВт зазвичай займає 6-12 годин. Більшість пристроїв повільної зарядки, як правило, не використовуються, а це означає, що для підключення EV з точкою зарядження необхідний кабель.

Повільна зарядка є дуже поширеним методом зарядки електричних транспортних засобів, які використовуються багатьма власниками для того, щоб заряджати додому протягом ночі. Тим не менш, повільні одиниці не обов'язково обмежені домашнім використанням, з робочими місцями та громадськими точками також можна знайти. Через більший час заряджання над швидкими пристроями, повільні точки нарахування платежів є менш поширеними і, як правило, старими пристроями.

Хоча повільна зарядка може виконуватися через триконтактний роз'єм, використовуючи стандартний 3-контактний роз'єм, через більш високі поточні вимоги до електромобілів та більшу кількість часу, що витрачається на зарядку, настійно рекомендується тим, кому потрібно регулярно заряджатися вдома або на робочому місці отримати спеціальний блок заряджання EV, встановлений акредитованим установником (рис. 1.3).



3-контактний -  
3 кВт змінного  
струму



Тип 1 -



Тип 2 -



Commando -  
3 кВт змінного струму

Рисунок 1.3 – Профілі роз'ємів для повільних зарядних пристроїв [8]

Всі плагіни EV можуть заряджатися за допомогою принаймні одного з вищезгаданих повільних роз'ємів за допомогою відповідного кабелю. Більшість домашніх пристроїв мають один і той же кабель типу 2, який

міститься на публічних зарядних пристроях, або приєднані до роз'єму типу 1, якщо це підходить для конкретного ЕВ.

Більшість електромобілів постачаються з двома кабелями для повільного та швидкого заряджання змінного струму; один з триконтактною вилкою та інший з типом 2 charger-сторона, та обидва підходила з сумісним роз'ємом для автомобіля inlet порт. Ці кабелі дозволяють ЕВ підключатися до більшості незадіяних зарядних точок, тоді як використання прив'язаних пристроїв вимагає використання кабелю з правильним типом роз'єму для транспортного засобу.

## 1.2 Зарядка електромобіля

Для звичайної зарядки транспортного засобу зазвичай використовується власне зарядний пристрій, підключений безпосередньо до мережі АС. Структурна схема активної зарядної станції з виходом змінного струму наведена на рисунку 1.4.

Концепція зарядної станції використовує паралель підключення накопичувача до розетки зарядного пристрою. Основними блоками живлення є двонаправлений інвертор, який забезпечує двонаправлений потік потужності між мережею і акумулятором. Таке розташування дозволяє відокремити електричний заряд тільки від мережі як частину загальної зарядки акумуляторної зарядної станції, а частина мережі і зарядки акумулятора від мережі в тому випадку, якщо зарядний роз'єм не підключений до електричного транспортного засобу. Вся система контролюється одиницею вимірювання, контролю та зв'язку. Отже, силова секція активної зарядної станції повинна задовольняти наступним вимогам:

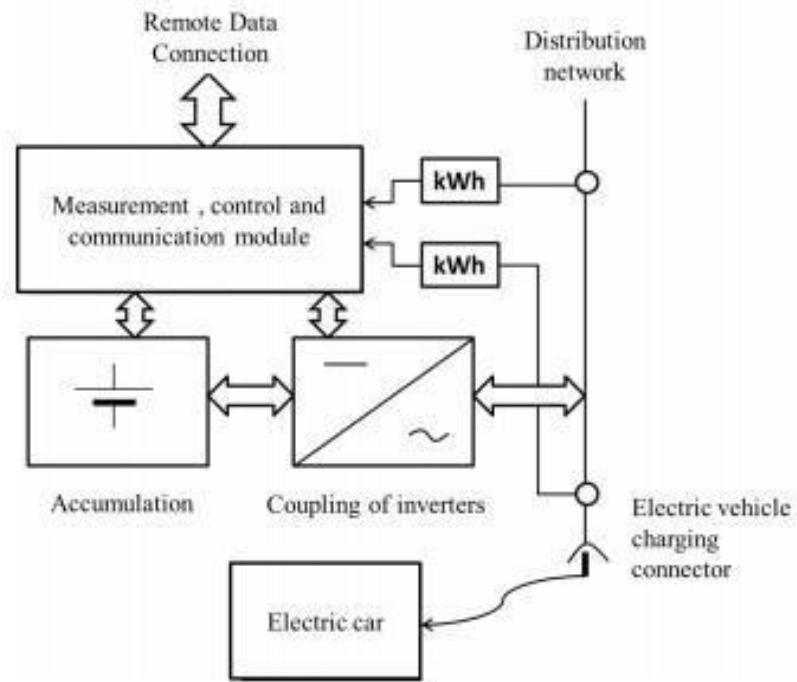


Рисунок 1.4 – Структура зарядного пристрою для електричних транспортних засобів

- високий динамічний режим управління робочими умовами,
- чотири квадранта щодо електромережі,
- активна фільтрація,
- реверсування впливу електричних зарядних пристроїв,
- висока ефективність перетворення електричної енергії.

Таке рішення дозволяє покрити потреби зарядки електричної енергії в момент, коли відмова мережі здійснюється за допомогою живлення від допоміжної батареї активної зарядної станції. Це рішення також дозволяє при відповідному контролі інвертора пригнічувати негативні ефекти зворотного зв'язку зарядки електричних транспортних засобів на енергосистему як основної гармоніки, реактивної потужності і в більш високих порядках гармонік. Перевагою рішення є також те, що в разі нестачі енергії в допоміжному акумуляторі станція може працювати тільки як так званий паралельний активний фільтр.

Більшість власників приватних автомобілів зазвичай покладаються на домашню зарядку. Щоб мати змогу заряджати автомобіль вдома – потрібно знати, як відбувається зарядка та, які потужності для цього потрібні.

Ємність батареї електромобіля вимірюється в кіловат-годинах. Розглянемо приклад, коли ємність батареї становить 85 кВт. Теоретично вона може віддати потужність в 85 кВт протягом однієї години або 85 годин віддавати потужність в 1 кВт. Для зарядки батареї потрібно провести зворотний процес – подавати на неї 85 кВт протягом години або 85 годин подавати 1 кВт. В реальності через втрати зарядка не завжди йде з однаковою швидкістю і показниками, але загальний принцип такий: для швидкої зарядки нам знадобиться потужний зарядний пристрій з високою пропускнуою здатністю.

У звичайної побутової розетки номінальну напругу 220 В і максимальна сила струму не більше 16 А. Множимо напруга на силу струму і отримуємо максимальну потужність споживання в 3,5 кВт.

Другий варіант розеток - трифазні розетки з лінійною напругою 380 В і напругою кожної фази 220 В. Така розетка має ті ж 16 А струму, що з урахуванням трьох фаз дає нам  $220 \text{ В} \times 16 \text{ А} \times 3 = 10,5 \text{ кВт}$ .

Щоб встановити трифазну розетку в будинку, вам необхідно буде зробити проект, узгодження, прокласти кабелі, встановити розетки. В кожному окремому випадку буде варіюватися термін, вартість, доступність електричної потужності. Тому, перш ніж задуматися про покупку електромобіля, вам обов'язково потрібно зрозуміти для себе, як ви вирішите питання з зарядкою.

Для зарядки батареї електромобіля змінний струм мережі перетвориться в постійний за допомогою зарядного обладнання, встановленого всередині автомобіля. Базово в Tesla Model S встановлено один зарядний пристрій потужністю 11 кВт, а додатково можна встановити друге і отримати потужність зарядки в 22 кВт.[8]

У комплекті з машиною поставляється Mobile Connector - розумний з'єднувальний кабель. Для європейського ринку в комплекті є два адаптера:

один для звичайної розетки і другий - для трифазної. В автомобілі розташовується роз'єм зарядки Mennekes Type 2, головною перевагою якого є можливість працювати як з постійним, так і зі змінним струмом, в одно- або трифазній мережі. Він істотно безпечніше звичайних роз'ємів, оскільки процес зарядки починається лише після того, як автомобіль з кабелем «домовляється» між собою про тип електричного струму і потужність зарядки.

Швидкість зарядки від звичайної розетки буде в чотири рази повільніше, ніж у трифазної розетки, оскільки максимальна потужність в даному випадку всього 3 кВт. А повна зарядка займе більше 33 годин. Крім того, звичайна розетка обов'язково повинна мати заземлення, інакше Mobile Connector моргне чотири рази червоним діодом, сигналізуючи про відсутність заземлення, без якого процес зарядки не почнеться. Дуже часто при монтажних роботах або в старих електромережах можна зустріти незаземлені розетки.

Якщо потрібно заряджатися вдома швидше, ніж це дозволяє трифазна розетка, потрібно встановити додатковий зарядне обладнання High Power Wall Connector (HPWC) (рис. 1.4). Або додатково встановити в автомобіль другим зарядний пристрій, до вже встановленого раніше. В цьому випадку максимальна потужність зарядки буде 22 кВт, що дозволить зарядити автомобіль повністю за 4 години.

З огляду на те, що приватні автомобілі зазвичай припарковуються на ніч, більшість власників електромобілів покладаються на домашню зарядку, щоб гарантувати, що їх електромобіль будуть готові до роботи щоранку. Перевага нічної домашньої зарядки також в тому, що в більшості випадків це найдешевше час для зарядки.



## Рисунок 1.4 – Штепсельний роз'єм Tesla High Power з 24-дюймовим кабелем 2nd Gen

Отже, найбільша проблема з зарядкою на 22 кВт – це виділення відповідної потужності. Якщо немає можливості отримати в місці зарядки 22 кВт, додатковий зарядний пристрій в машину не буде сенсу замовляти. Найчастіше в дорозі зарядка буде від звичайної розетки (обов'язкова умова – наявність заземлення) або трифазної розетки. Навіть якщо раптом знайдете розетку з потужністю 22 кВт, то 4 години – для зарядки днем занадто багато, а при зарядці вночі різниця в 4 або 8 годин не матиме значення. Як це не дивно, але в місті електрозаправки власнику електромобіля не потрібні. Запас ходу складає 300-350 км. Взимку в гіршому випадку він опускається до 200 км. Якщо у вас є трифазна розетка або HPWC, ввечері ви ставите автомобіль на зарядку, а вранці у вас завжди буде «повний бак». У випадку зі звичайною розеткою повної зарядки може і не вийти. Тому найкраща електрозаправка – це трифазна розетка вдома.

### 1.3 Переваги та недоліки електричних транспортних засобів

У цьому розділі проведено аналіз і оцінку електричний транспортний засіб за такими параметрами: екологічність, енергоефективність, вартість зарядки, стабілізація сітки, дальність поїздки.

#### 1.3.1 Екологічність

Електричні транспортні засоби не випускають повітряні забруднювачі хвостової труби на місці, де вони працюють. Вони також зазвичай генерують менше шумового забруднення, ніж транспортний засіб двигуна внутрішнього згорання, спокійний чи рухливий. [9] Енергія, електричні та гібридні автомобілі споживають, як правило, генеруються з допомогою засобів, які

мають вплив на навколишнє середовище. Тим не менш, адаптація електростанцій буде мати чисту екологічну вигоду, за винятком декількох країн, які продовжують покладатися на старі електростанції, що працюють на вугіллі, для більшої частини виробництва електроенергії протягом усього життя автомобіля [10-12].

Дослідження, проведене Cambridge Econometrics, показує потенційні переваги забруднення повітря електростанціями. Згідно з одним із сценаріїв дослідження, Європа була б на шляху до скорочення викидів CO<sub>2</sub> від автомобілів на 88% до 2050 року. Відповідні поліпшення технологій скоротили б токсичні оксиди азоту з автомобілів з близько 1,3 млн. Тонн на рік до 70 000 тонн на рік [13].

### 1.3.2 Енергоефективність

Ефективність електротранспортного засобу приблизно в 3 рази вище, ніж транспортні засоби внутрішнього згорання. [9] енергія не витрачається в той час як транспортний засіб знаходиться в нерухомому стані, в відміну від двигунів внутрішнього згорання, які споживають палива на холостому ходу. Але, дивлячись на добре-до-колеса ефективність EVS, їхні загальні емісії, в той час, як все ще нижчі, є ближчі до ефективного бензину або дизеля у найбільш країнах де виробництво електроенергії покладається на fossil паливо [14-16].

Електротранспортний засіб негайно став би двічі як ефективним якщо виробництво електроенергії було переключено з викопного палива до вітру або приливної джерела енергії. Таким чином, коли йдеться про «колісні», слід мати на увазі, що обговорення більше не стосується автомобіля, а, скоріше, всієї інфраструктури енергопостачання – у випадку з викопними видами палива, це також повинно включати енергію, витрачену на розвідку, видобуток, переробку та розподіл. Аналіз життєвого циклу електромобілів свідчить, що навіть при живленні найбільш енергоємною електроенергією в



Європі вони викидають менше парникових газів, ніж звичайний дизельний транспортний засіб [17].

### 1.3.3 Вартість зарядки

Вартість експлуатації EV різко залежить від місця розташування. У деяких частинах світу, EV коштує менше, ніж керувати автомобілем порівнянного газу, доки вища початкова ціна не врахована. У США, у штатах, які мають багаторівневий графік тарифів на електроенергію, "паливо" "Для електромобілів сьогодні коштує власники значно більше, ніж паливо для аналогічного транспортного засобу, що працює на газі. Дослідження 2011 року, проведене університетом Пердью, виявило, що в Каліфорнії більшість користувачів вже досягають третього рівня ціноутворення на електроенергію щомісяця, а додавання EV може підштовхнути їх до четвертого або п'ятого (найвищого, найдорожчого) рівня, що означає, що вони будуть платити понад 0,45 дол. США за кВт-год електроенергії для підзарядки транспортного засобу. На сьогоднішній день ціна на обслуговування електротранспортних засобів в США перевищує середню ціну традиційно газових автомобілів. "Мета багаторівневої системи ціноутворення полягає в тому, щоб перешкоджати споживанню. Це покликане примусити вас подумати про вимкнення світла і збереження електроенергії. ", - сказав Тайнер (автор), результати якого були опубліковані в онлайн-версії журналу Energy Policy [18].

### 1.3.4 Стабілізація сітки

Оскільки електромобілі можуть бути підключені до електричної мережі, коли вони не використовуються, є потенціал для автомобілів, що живляться від батареї, щоб навіть скоротити попит на електроенергію, подаючи електроенергію в мережу від своїх батарей під час пікового використання (наприклад, використання кондиціонера в півріччі) виконуючи більшу частину

своєї зарядки вночі, коли є невикористана генеруюча потужність [19, 20]. Це підключення від транспортного засобу до електромережі (V2G) має потенціал для зменшення потреби в нових електростанціях, якщо власники транспортних засобів не бажають скоротити термін служби своїх батарей, будучи витісненими енергетичною компанією під час пікового попиту. Також доведено, що автостоянка електричного транспортного засобу здатна добре відігравати роль агента, який надає відповідь на попит [21].

Крім того, наша поточна інфраструктура електроенергії може потребувати впоратися зі збільшенням частки джерел змінного струму, таких як вітрові та сонячні фотоелектричні установки. Цю мінливість можна вирішити, регулюючи швидкість, з якою заряджаються батареї ЕВ, або, можливо, навіть розряджаються.

Деякі концепції бачать обмін батареї та станції зарядки батареї, значно люблять газ / станції бензину сьогодні. Зрозуміло, що це вимагатиме величезних потенціалів зберігання та зарядки, які можна було б маніпулювати, щоб змінювати швидкість зарядки та виводити енергію під час нестачі, так як дизельні генератори використовуються на короткий час для стабілізації деяких національних мереж [22, 23].

### 1.3.5 Дальність поїздки

Електричні транспортні засоби мають більш короткий діапазон в порівнянні з двигунами внутрішнього згорання, однак, ціна за милю електричних транспортних засобів падає. [24, 25] Більшість власників вирішили заряджати свої транспортні засоби, перш за все, у своїх будинках, не використовуючи їх, як правило, через меншу кількість разів зарядки та додаткову зручність [26].

## 2 ЕЛЕКТРОМОБІЛІ В ОЕС УКРАЇНИ ТА ЇЇ СТАН

Зарядна станція зазвичай є частиною сучасних електричних мереж, відомих як Smart Grids (інтелектуальні мережі) або Micro Grids (мікромережі). Цей розділ також включає в себе короткий виклад існуючих знань про структуру і обслуговуванні розподільних електричних мереж, обсяги споживання електроенергії в країні, аналіз галузі електромобілів і їх потенційний вплив на електричні мережі, а також концептуальне рішення зарядних станцій електричних автомобілів з мінімальним впливом на електричну мережу.

Електромобілі в даний час є найбільш часто обговорюваним терміном автомобільної техніки. Невелика кількість транспортних засобів, що експлуатуються в Україні, також відповідає низькій щільності зарядних станцій, більшість з яких також працюють аматорським способом. У разі розширення електромобілів також збільшаться вимоги по будівництва адекватної мережі зарядних станцій. Для цих цілей є досить вигідним об'єднати систему інфраструктури зарядних станцій з поновлюваними джерелами енергії, такими як енергія, що виробляється сонцем, з можливістю накопичення та подальшої її доставки в єдину інфраструктуру зарядки.

## 2.1 Структура енергосистеми України

Основою електроенергетики України є об'єднана електроенергетична система (ОЕС), яка здійснює централізоване енергопостачання власних споживачів і взаємодіє з енергосистемами сусідніх країн, забезпечуючи експорт та імпорт електроенергії.

Об'єднана енергетична система України (ОЕС України) – сукупність атомних, теплових, гідравлічних і гідроакумуючих електростанцій, теплоелектроцентралі, а також електростанції з відновлювальних джерел енергії (вітряні, сонячні та інші), магістральні електричні мережі Укренерго та

розподільчі електромережі (обленерго), які об'єднані спільним режимом виробництва, передачі та розподілу електричної та теплової енергії.

Централізоване диспетчерське управління ОЕС України здійснює Укренерго. Зв'язок з енергосистемами інших країн здійснюється через міждержавні лінії електропередачі.

Режим роботи ОЕС визначається виходячи з балансу виробництва та споживання потужності, ремонтів електромереж та генеруючого обладнання, а також можливості ліквідації аварійних ситуацій у разі відключення генеруючого обладнання на електростанціях та магістральних ліній електропередачі.

Для запобігання порушенням режиму роботи ОЕС України або її окремих частин внаслідок певних факторів вживаються необхідні заходи для обмеження споживання електричної енергії та потужності, а також застосовуються спеціальні графіки і протиаварійні системи зниження електроспоживання [27].

## 2.2 Зарядні станції для електромобілів у розподільчій мережі

Якщо кількість електромобілів збільшиться, необхідно буде побудувати досить густу мережу зарядних станцій, щоб забезпечити не тільки радіус дії електромобілів в своєму районі експлуатації, але і перетин на середніх відстанях до 300 км [28]. Це вимагає розгортання зарядних станцій уздовж основних доріг в межах максимум 50-60 км. В даний час їх щільність в Україні не низька (рис. 2.1), але практично не відповідає щільності в сусідній Німеччині (рис. 2.2).

Кількість споживаної електричної енергії може бути оцінений на основі очікуваної структури характеристик транспортного засобу і їх безпечних відстаней. Енергія, необхідна для середньої дальності 120 км електромобілів в трьох відмінних категоріях, дає нам таблиця 2.1. Для аналізу були обрані

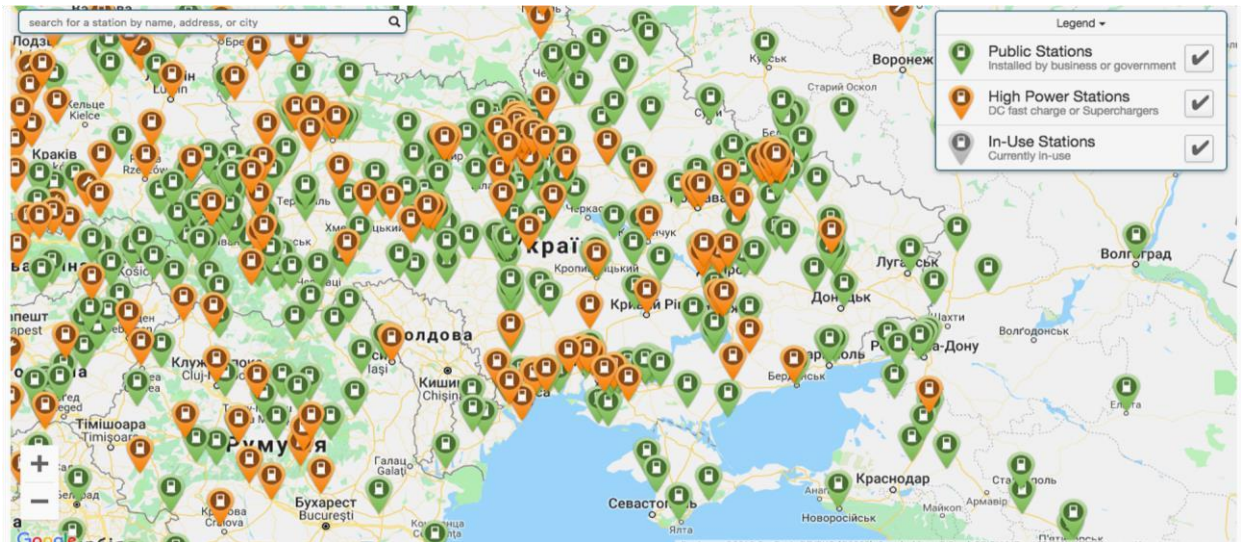


Рисунок 2.1 – Карта електричних зарядних станцій в Україні [30]



Рисунок 2.2 – Карта електричних зарядних станцій в Германії [31]

три основні категорії електромобілів, які характеризуються різною потужністю двигуна [29]. Категорія «А» – невеликий міський автомобіль з тяговим двигуном потужністю близько 10 кВт, категорія «В» – стандартний

автомобіль нижчого середнього класу з характеристиками тягового двигуна близько 30 кВт і категорія «С» – вищий клас з характеристиками тягового двигуна близько 80 кВт. Діапазон у всіх трьох категоріях в середньому становить 120 км. Енергія, необхідна для експлуатації транспортного засобу, була визначена спрощеним розрахунком на основі основних фізичних рівнянь для розрахунку енергетичних характеристик двигунів транспортних засобів (таблиця А.1).

Аналогічним чином було розраховано зарядний струм для збереженої енергії і очікувана номінальна напруга батареї 350 В, для трьох різних часів зарядки. Ці часи були встановлені для можливих режимів:

- $t = 8$  годин – довгострокова (наприклад, нічна) зарядка електричних транспортних засобів низьким струмом на батареї повної потужності;
- $t = 4$  години – зарядка електричних транспортних засобів протягом дня робочий час у обідніх перервах або ділових зустрічах);
- $t = 0,5$  години – так звана швидка зарядка, оскільки під час довгої подорожі зупиняється.

### 2.3 Обсяги споживання та виробництва електроенергії

Графік виробництва/споживання електроенергії – головний документ в диспетчерському управлінні ОЕС України, який регламентує роботу всіх суб'єктів об'єднаної енергосистеми сьогодні на завтра.

Відповідно до графіка балансується споживання електроенергії та її виробництво електростанціями. При цьому враховується забезпечення нормативних параметрів безпеки роботи генерації та мереж, забезпечення резервів потужності для покриття можливих втрат генерації чи підвищення споживання.

Графіки навантаження та виробництва електроенергії розробляється ДП

«Енергоринок», затверджується Головним диспетчером Укренерго та ДП «Енергоринок» та надається у відкритий доступ. Таким чином на рисунках 2.32.4 наведено актуальні графіки виробництва та споживання електроенергії за певний період.

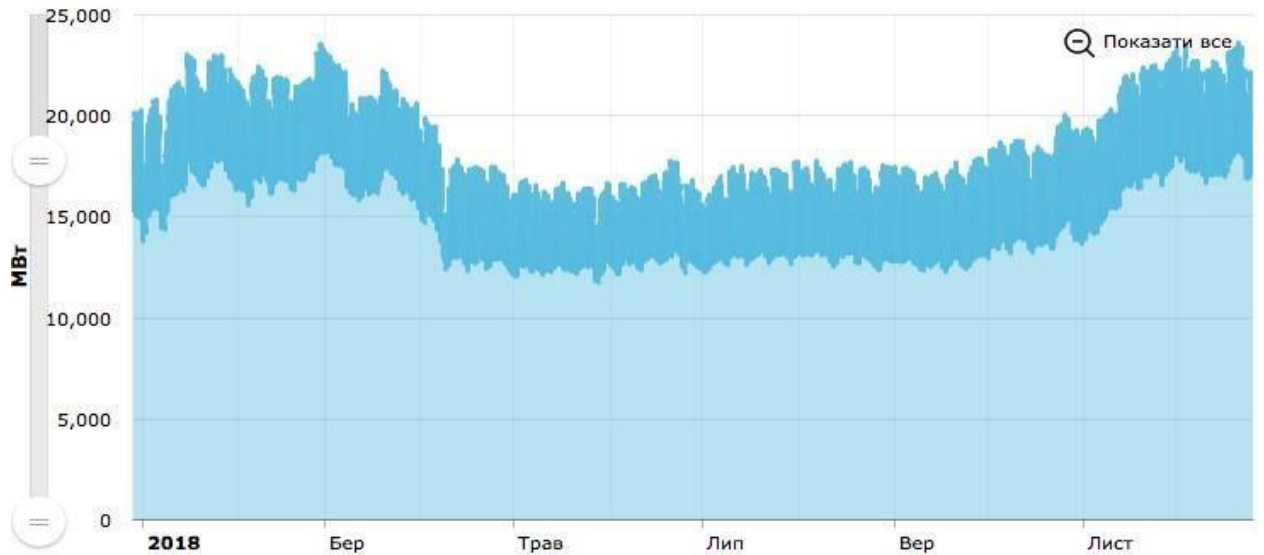


Рисунок 2.3 – Графік споживання електроенергії за 2018 р. [32]

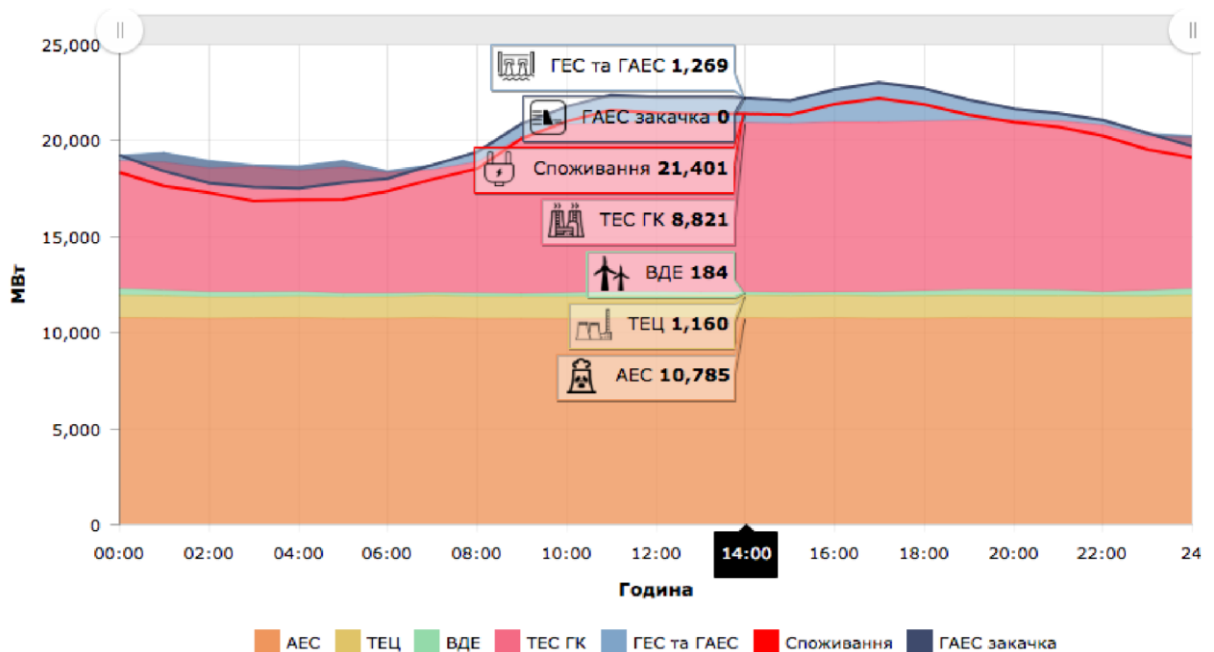


Рисунок 2.4 – Добовий графік виробництва та споживання електроенергії за 24.12.2018 р. [32]

Базуючись на даних, представлених компанією ДП «Енергоринок», щодо виробництва та споживання електроенергії (рис. 2.4) – був побудований кільцевий графік для кращого розуміння енерго-економічної ситуації.

З добового графіка виробництва енергії – загальна встановлена потужність електростанцій в цілому по країні становила 22,219 МВт, з яких: 20,2% припадає на теплові електростанції (ТЕС); 24,7% – атомні електростанції (АЕС); 2,9% – гідроелектростанції та гідроакumuлюючі електростанції (ГЕС і ГАЕС); 2,7% – теплоелектроцентралі (ТЕЦ), блокстанції та інші об'єкти; около 0,4% – на поновлювані джерела енергії, такі, як вітрові електростанції (ВДЕ). Разом усі джерела енергії ледь покривають потреби країни (споживання електроенергії), враховуючи, що географічне розташування та наявність потужних міждержавних ліній електропередачі ОЕС України дозволяє забезпечувати значний обмін електроенергією з енергетичними системами країн Європейського Союзу (Угорщини, Словаччини, Польщі та Румунії) та енергетичними системами країн СНД (Росії, Білорусі, Молдови).

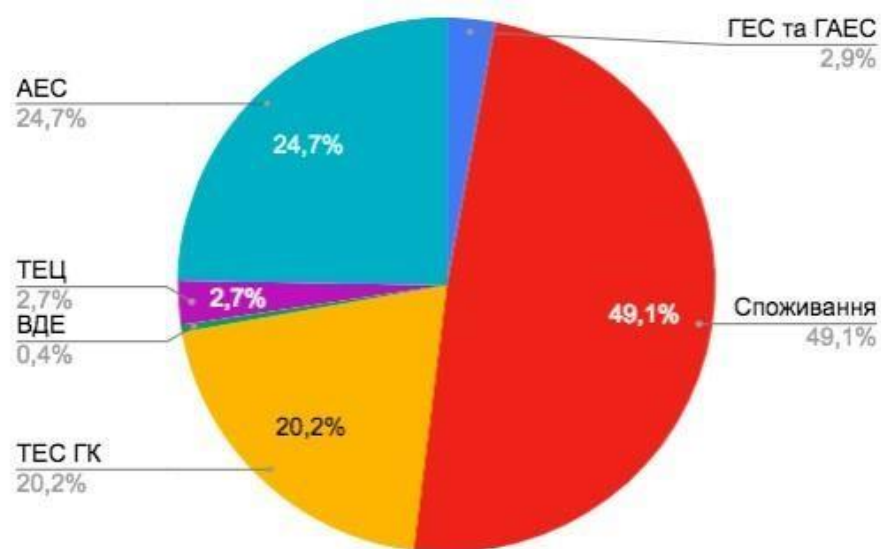


Рисунок 2.5 – Добовий кільцевий графік виробництва та споживання електроенергії за 24.12.2018 р.



У години мінімуму для заповнення провалу графіка навантаження відбувається закачування енергоресурсів. У години максимального споживання електроенергії покривають до 30-40% пікових навантажень.

Теплові електростанції все ще залишаються важливим засобом регулювання режимів виробництва електричної енергії в ОЕС. Настільки складно не проектні режими роботи базисних вугільних блоків ТЕС призводять до дострокового зносу обладнання, неекономічний режиму роботи і значним перевитрат палива. За орієнтовними розрахунками, загальні втрати енергосистеми від використання палива на пуски / зупинки становлять близько 1 млрд дол., Ще 2 млрд дол. – втрати від скорочення експлуатаційного ресурсу блоків. Крім того, технічні характеристики систем регулювання існуючого обладнання не завжди можуть забезпечити підтримку частоти в межах діючих норм ( $50 \pm 0,2$  Гц), не кажучи вже про норму  $50 \pm 0,02$  Гц згідно з вимогами до енергосистем Європи.

Отже, нестача маневрових потужностей в Україні призводить до необхідності використання великих теплових енергоблоків для регулювання добових графіків електричного навантаження, що нераціонально з точки зору як втрати експлуатаційного ресурсу блоків, так і використання первинних енергоресурсів. Разом з тим надлишок потужності в нічні години при обмежених можливостях маневрування погіршує не тільки стійкість роботи ОЕС України, а й здатність синхронної роботи. Тому й необхідно вжити ряд дій для зменшення навантаження на ОЕС України, як слідство – збереження коштів держави на додаткове обслуговування та збереження екології планети.

#### 2.4 Двобонний і трьохзонний облік електроенергії в Україні

Розрізняють одноставковий і многоставочний тарифи на електроенергію. При одноставковому тарифі вартість спожитої активної енергії не залежить від часу доби і навантаження на енергосистему, оплачується тільки кількість використаних кіловат-годин.

При двоставковому тарифі, який став застосовуватися в Україні, цінова політика щодо електроенергії стає систематизованою. При цьому підході оплата ділиться на дві частини – ціна задіяної потужності і ціна самої спожитої енергії. Для підприємств, які задіють обладнання потужністю від 750 кВт і більше, дана система тарифікації фінансово виправдовує себе.

В Україні стало можливим використовувати багатотарифні систему для розрахунку за спожиту електроенергію. Суть цієї системи в введенні спеціальних коефіцієнтів оплати використаної електроенергії, які змінюються в залежності від сезону і часу доби.

Основний акцент робиться на те, що в періоди, коли навантаження на систему енергопостачання максимальна, вартість 1 кВт / год зростає. Нічний тариф буде мінімальний через низьку навантаження на мережу в цей час доби. Користуватися багатотарифній системою зможе і населення, і юридичні особи.

Постанова НКРЕ України №221 від 26 лютого 2015 року визначає, які коефіцієнти повинні застосовуватися для приватних осіб при розрахунку вартості електроенергії по двозонному і трьохзонний виду обліку (табл. А.2) .

Користь багатотарифній системи полягає в наступному:

- економляться кошти на оплату електрики;
- знижується навантаження на систему енергопостачання в пікові години;
- враховуються інтереси і споживача, і постачальника.

Перехід на нову систему розрахунку вимагає установки спеціального дво- або трьохзонного лічильника, який споживачі купують самостійно. Але економія від нововведення очевидна при будь-якому обсязі і цілях використання електроенергії.

Тарифи на електроенергію для підприємств і юридичних осіб (крім населення) залежать безпосередньо від постачальника послуг, тобто від енергопостачальної компанії, яка займається обслуговуванням того чи іншого підприємства. У 2016 році вартість електроенергії, як 1-го, так і 2-го класу

напруги, була однаковою у всіх постачальників. Однак, з 2017 року ситуація змінилася і тарифи на електроенергію у різних постачальників відрізняються. Якою буде вартість електроенергії для конкретного підприємства, залежить від виду підприємства і цілей використання ним електричної енергії [33].

Для підприємств та юридичних осіб є можливість застосовувати багатотарифні систему для економії коштів на оплату використаної енергії. У Постанові НКРЕКУ України №1241 від 20 грудня 2001 року і факсограмі ДП «НЕК» Укренерго №06-1-1 / 13396 від 25 листопада 2014 року визначається, з якого коефіцієнту буде розраховуватися оплата електроенергії для юридичних осіб, що використовують багатотарифний систему (табл. А.3).

З метою заохочення розвитку альтернативних джерел енергії, зокрема видобуваються за допомогою сонячного випромінювання і вітру, держава ввела так званий "зелений" тариф. Тим приватним домогосподарствам, у яких залишаються надлишки електроенергії, отриманої альтернативним шляхом, держава платить за кожен кВт, що надходить в загальну мережу. Для приватних домогосподарств дозволена потужність за зеленим тарифом на електроенергію в Україні становить 30 кВт.

Тарифна сітка розроблена до 2030 року. Але дуже часто Національна комісія, яка здійснює державне регулювання у сфері енергетики і комунальних послуг (НКРЕКУ), переглядає її щоквартально (залежить від зміни курсу євро) і вводить нові тарифи черговою постановою, яке скасовує дію попередніх [34].

## 2.5 Закономірності еластичності попиту і платіжної дисципліни

Проблема дисбалансу попиту та пропозиції на енергетичному ринку повинна вирішуватися також за рахунок впровадження програм управління попитом.

Для успішної реалізації програм з управління попитом на електроенергію необхідні економічні стимули - зацікавленість споживачів, а також розробка методологічних, технічних і нормативно-правових аспектів,

що дозволяють споживачам брати участь в регулюванні і регламентують принципи і правила енергоспоживання.

На сьогоднішній день НКРЕКУ використовує тільки нормативний і тарифний методи регулювання. Хоча в Україні передбачені двозонні та трьохзонні диференційовані тарифи, потенційні стимулюючі ефекти тарифної політики майже повністю нівельовані наявністю перехресних субсидій. Економетричний аналіз показує, що попит на електроенергію нееластичний. В середньому на 1% зростання тарифу електроспоживання зменшується на 0,1% [33].

Ще один важливий висновок: відставання ефекту від зростання цін більше, ніж від зростання доходу. Іншими словами, енергозберігаюче свідомість споживачів швидше реагує на збільшення доходу, ніж на зміну цін. Дослідження залежності попиту на енергію та платіжної дисципліни показують, що в разі, якщо сукупна частка витрат на електроенергію та інші комунальні послуги перевищує 20% від сукупних доходів домогосподарств, рівень оплати починає стрімко падати, що врешті-решт призводить до кризи неплатежів по всьому ланцюжку системи енергозабезпечення, спочатку в системі житлово-комунального господарства, а згодом ефект доміно поширюється на всю економіку.

## 2.6 Економічні механізми управління попитом

Впровадження в життя проектів з управління споживанням електроенергії потребує розробки ефективних стимулюючих заходів. У промислово розвинених країнах досить ефективною виявилася практика включення витрат програм управління попитом в тариф на електроенергію. А також невключення інвестиційної складової витрат енергетичних підприємств до введення в експлуатацію нових станцій.

Для запобігання втрати доходів, пов'язаних зі зниженням обсягу продажу електроенергії через зменшення її споживання, енергетичні

підприємства складають балансові рахунки відхилення доходів. І цю різницю включають в ціну електроенергії для споживачів на наступний рік.

Ефективним прикладом економічних механізмів управління попитом є метод добровільного обмеження навантаження, що передбачає стимулювання скорочення електроспоживання шляхом виплат за кожен зекономлений кіловат-годину. Джерелом фінансування цієї програми є оптовий ринок електроенергії.

У провідних країнах багато енергокомпанії зрозуміли, що втрату прибутку через зменшення попиту цілком можна компенсувати шляхом диверсифікації видів економічної діяльності, в тому числі проведення енергоаудиту та енергоменеджменту, встановлення приладів обліку та енергоефективного обладнання у споживачів.

Політика енергоефективності на макrorівні – удосконалення технологій – в кінці кінців, сприяє їх широкому поширенню на ринку і збільшує енергоспоживання в абсолютному вираженні на макrorівні. Таким чином, участь енергокомпаній в програмах управління попитом забезпечує певний консенсус і баланс інтересів як постачальників, так і споживачів електроенергії.

### 3 ПРОПОНОВАНИЙ ПРОГРАМНО-АПАРАТНИЙ КОМПЛЕКС

Кількість електричних транспортних засобів збільшується, тому існує потреба у впровадженні системи зарядки електричних транспортних засобів в парковочних системах або мережах. Автомобіль великий Nissan виробив Vehicle-to-grid (V2G) проект з багатонаціональною енергетичною компанією “Enel”. Nissan вивчав і робив дослідження, засновані на системах V2G і цей проект є першим у своєму роді у Великобританії і одним з найбільших на сьогоднішній день компаній. Система «Vehicle-to-grid» функціонує як двосторонній зарядний пристрій та власників електричного транспортного

засобу (EV), які матимуть змогу зарядити транспортний засіб або продати надлишкову енергію (надлишок), що зберігається від акумулятора автомобіля до сітки. Вони отримуватимуть прибуток від енергії, що продається в мережу, при цьому роблячи помітну роль у стабільності мережі. У цьому широкому діапазоні ідей, ці електромобілі можуть, безумовно, забезпечити деякі досягнення в енергетичному менеджменті, перш за все для постачання важливих і важливих навантажень, таких як виробничі цехи під час відмов електроенергії та будь-яких надзвичайних ситуацій [35]. Електричні пристрої приносять користь міським службам і забезпечують відшкодування за життєздатні джерела енергії з перебоями. Цей новий метод є ефективним і більш доречним завдяки тому, що більшість електричних транспортних засобів зупиняються в середньому на 91-95 відсотків від періоду їх використання, і більшість електромобілів припарковано вдома серед 9 вечора і 6 ранку. Коли EVs підключені до енергетичної мережі, потужність може розряджати або з EV батареї (G2V та V2G) (рис. 3.1). При відключенні електромережі або перебої з електроприводом – може працювати, як батьківська напруга для забезпечення необхідних навантажень.

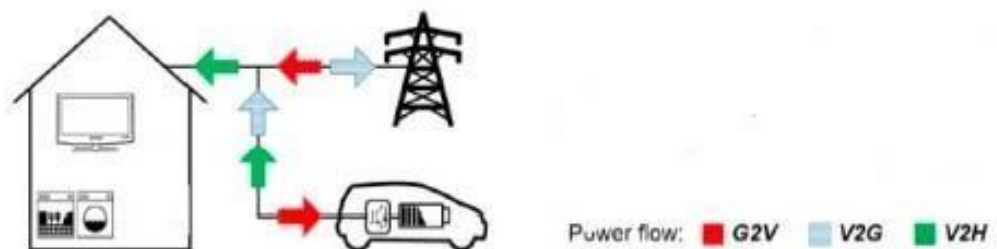


Рисунок 3.1 – V2G і G2V з'єднання

Розробляема система повинна мати смарт-мережу на основі Інтернету речей (IoT) стежити за станом батареї в системах SmartGrid, мати можливість увімкнути/вимкнути подачу живлення, встановити потрібний режим економії електроенергії, отже й коштів, як у “звичайному режимі” так і у “режимі подорожі”. IoT яка розробляється має містити в собі:

- мікроконтролер з відкритим кодом, який буде регулювати напругу і струм відповідно до вимог для електротранспортного засобу;
- сервер, з котрим буде спілкуватись мікроконтролер;
- алгоритм планування зарядки на великих електрозаправках з метою мінімізації пікового навантаження;
- базу даних для зберігання інформації про усі зареєстровані машини, їх параметри та статистичні данні про поточні та минулі зарядки;
- клієнт додаток: мобільну платформу Android/iOS чи вебінтерфейс.

Крім того, користувач може визначити місце розташування найближчої зарядної станції за допомогою програми. Як тільки користувач дізнається про стан свого автомобільного акумулятора, він може легко вирішити, чи варто продовжувати подачу енергії в мережу або брати енергію з мережі на основі тарифних ставок. Тарифна ставка буде відрізнятися для подачі електроенергії в мережу і отримання енергії від мережі. Усю інформацію щодо тарифів, напруги та кількості виробленої електроенергії можна буде подивитися на графіках у клієнтському додатку. Схеми тарифікації водіїв, введення в реальному часі і сигнали сервер отримує від мережевих операторів і комунальних служб. Так в Україні графіки навантаження, виробництва електроенергії та схеми тарифікації розробляється ДП «Енергоринок» та до них надається відкритий доступ (розділ 2.2). Сітка буде мати двонаправлені перетворювачі для передачі потужності [36] [37]. Є кілька сіток, які також використовують сонячну енергію як джерело [38].

Профіль навантаження електростанції сильно залежить від графіка зарядки машин. Без інтелектуальної системи складання розкладу зарядки машин, це може привести до нерівномірно розподіленого профілем навантаження з високими піками навантаження, що є проблематичним для локальної мережі, а також для обладнання. Планування електрзарядки транспортних засобів - відносно нова і погано вивчена тема. Таким чином одною з основної мети системи – управління зарядними навантаженнями збалансувати попит на енергосистему, знизити оптові витрати на

електроенергію і зменшити періодичність використання поновлюваних джерел енергії. Програмне забезпечення, повинне відстежувати джерела в реальному часі в мережі, що дозволяє заряджати, коли генеруються вітрові та сонячні ресурси. Це враховує більше впровадження відновлюваної енергії і може бути корисним для комунальних служб, які прагнуть до виконання встановлених державою цільових показників відновлюваної енергії. Зарядні пристрої повинні бути запрограмовані на автоматичне реагування на стан мережі, що дасть змогу покращити мережі в періоди пікового навантаження.

### 3.1 Вибір IoT-технології

Internet of Things створює інтелектуальну мережу для передачі інформації між декількома користувачами і, таким чином, розширює можливості підключення за допомогою інфраструктур.

Важливі й помітні особливості IoT включають підключення, датчики і використання невеликих пристроїв. Нові технології для мереж, особливо IoT, являють собою різновид мереж, які не прив'язані до великим постачальникам [39]. IoT створює невеликі і широкі мережі між своїми системними пристроями. IoT використовує датчики або контролери в якості основного робочого блоку. В даний час все більше контролерів, таких як Arm Mbed, Arduino, набувають все більшої популярності в області IoT. Невеликі пристрої, такі як телефон або планшет, використовуються для перегляду результатів або результатів, що зводить до мінімуму зусилля по отриманню даних.

Переваги Інтернету речей поширюються на всі сфери життя і економіки. Основні переваги IoT описані нижче. Взаємодія з клієнтами - IoT повністю трансформується для забезпечення все більш ефективного і кращої взаємодії з аудиторією з метою зменшення недоліків і сліпих зон, які впливають на точність системи. Оптимізація - це та ж технологія, яка покращує і загострює участь клієнтів, а також покращує використання пристроїв і сприяє більш надійної розробці технологій автоматизації.



IoT надає простір вимогливого функціоналу і даних, де різні користувачі можуть брати участь одночасно. Мінімальні відходи - поточна аналітика даних дає нам зовнішню інформацію, але IoT дає реальну інформацію, яка веде до безпечного і бездоганного управління ресурсами. Таким чином втрати ресурсів скорочуються. Справжня інформація та накопичення даних схильні до недоліків, архітектурі і формі для пасивного використання. IoT вириває його з цих просторів і тримає його ідеально там, де люди обов'язково відправляються аналізувати і досліджувати реальне середовище.

Існують технології інтернет речей дротові, бездротові, далекої та короткої дії, і всі вони для досягнення різних цілей.

Для цього проекту було обрано технологію локальних мереж на основі стандарту IEEE 802.11, де пристрої можуть обмінюватися даними через спільну точку доступу або безпосередньо між окремими пристроями – технологія Wi-Fi.

Пристрої, які можуть використовувати технології Wi-Fi, включають настільні комп'ютери та ноутбуки, консолі для ігор, смартфони та планшети, смарт-телевізори, цифрові аудіопрогравачі, автомобілі та сучасні принтери. Пристрої, сумісні з Wi-Fi, можуть підключатися до Інтернету через бездротову локальну мережу та бездротову точку доступу. Така точка доступу має діапазон близько 20 метрів у приміщенні та більший діапазон на відкритому повітрі. Покриття точки доступу може бути настільки ж невеликим, як одна кімната зі стінами, які блокують радіохвилі, або на велику кількість квадратних кілометрів, що досягається за допомогою декількох точок доступу, що перекриваються.

Будь-яка людина, що знаходиться в діапазоні з контролером інтерфейсу бездротової мережі, може спробувати отримати доступ до мережі; через це Wi-Fi є більш вразливим до атак (так званих підслуховування), ніж дротові мережі. Захищений доступ Wi-Fi (WPA) - це сімейство технологій, створених для захисту інформації, що переміщується через мережі Wi-Fi, і включає рішення для особистих і корпоративних мереж. Особливості безпеки WPA

включали посилені захисти та нові практики безпеки, оскільки пейзаж безпеки змінювався з часом.

Для початкових розробок технологія Wi-Fi підходить, тому що має діапазон близько 20 метрів, захищений доступ WPA, та можливість виходу в інтернет та можливість зв'язку між окремими пристроями.

### 3.2 Структура системи

Розробляема система повинна мати смарт-мережу на основі Інтернету речей (IoT) (рис. 3.2) стежити за станом батареї в системах SmartGrid, мати можливість увімкнути/вимкнути подачу живлення, встановити потрібний режим економії електроенергії, отже й коштів, як у “звичайному режимі” так і у “режимі подорожі”. IoT яка розробляється має використовувати хмарну платформу та мобільну платформу Android/iOS чи веб-інтерфейс. Крім того, користувач може визначити місце розташування найближчої зарядної станції за допомогою програми. Як тільки користувач дізнається про стан свого автомобільного акумулятора, він може легко вирішити, чи варто продовжувати подачу енергії в мережу або брати енергію з мережі на основі тарифних ставок. Тарифна ставка буде відрізнятися для подачі електроенергії в мережу і отримання енергії від мережі. Сітка буде мати двонаправлені перетворювачі для передачі потужності [36, 37]. Відправка, калькуляція та зберігання даних повинно відбуватися за допомогою хмарних технологій.

IoT включає кроссплатформний додаток для власника EV для можливість увімкнути/вимкнути подачу живлення, встановити потрібний режим економії електроенергії, як у “звичайному режимі” так і у “режимі подорожі”, відстежування місцеположення зарядки, стану зарядки, а також подробиці тарифних ставок V2G і G2V показані в кроссплатформенному додатку. Стан заряду батареї (SoC) показує заряд батареї, і це значення виражається у відсотках (в діапазоні від 0 до 100) [44, 45]. Стан заряду батареї визначається за формулою 3.1.

$$\text{SoC} = \text{InitSoC} - (A / \text{CНом}), \quad (3.1)$$

де  $\text{InitSoC}$  - початковий SoC,  $A$  - струм, що протікає через акумулятор,  $\text{CНом}$  - номінальна ємність акумулятора.

Додаток вбудовано в AndroidStudio і XCode, а дані зберігаються у хмарі. Хмара, яке діє як база даних для інформації, яка потрібна для зарядки.

У хмарі будуть зберігатися уся необхідна інформація щодо тарифних ставок для потоку потужності V2G і G2V, отриману інформацію з приладу – потужність, стан заряду автомобіля, обраний режим економії електроенергії, місце розташування станції та статистика стану роботи IoT-системи та автомобіля клієнта. Google Firebase використовується в якості хмарного сховища. Дані для входу користувача зберігаються тут. Adafruit IO - це ще одна платформа IoT, використовувана для зберігання значення SoC. Він може зберігати дані протягом 30 днів безкоштовно. Обмін повідомленнями (інформацією) між пристроями буде відбуватися за принципом видавецьпідписник, за допомогою спрощеного мережевого протоколу, що працює на TCP/IP – MQTT (Message Queue Telemetry Transport).

Обрав необхідні для розробки технології – можливо побудувати структурну схему додатку, та сформулювати технічне завдання. На рисунку 3.6 представлена структурна схема IoT-дodatка.

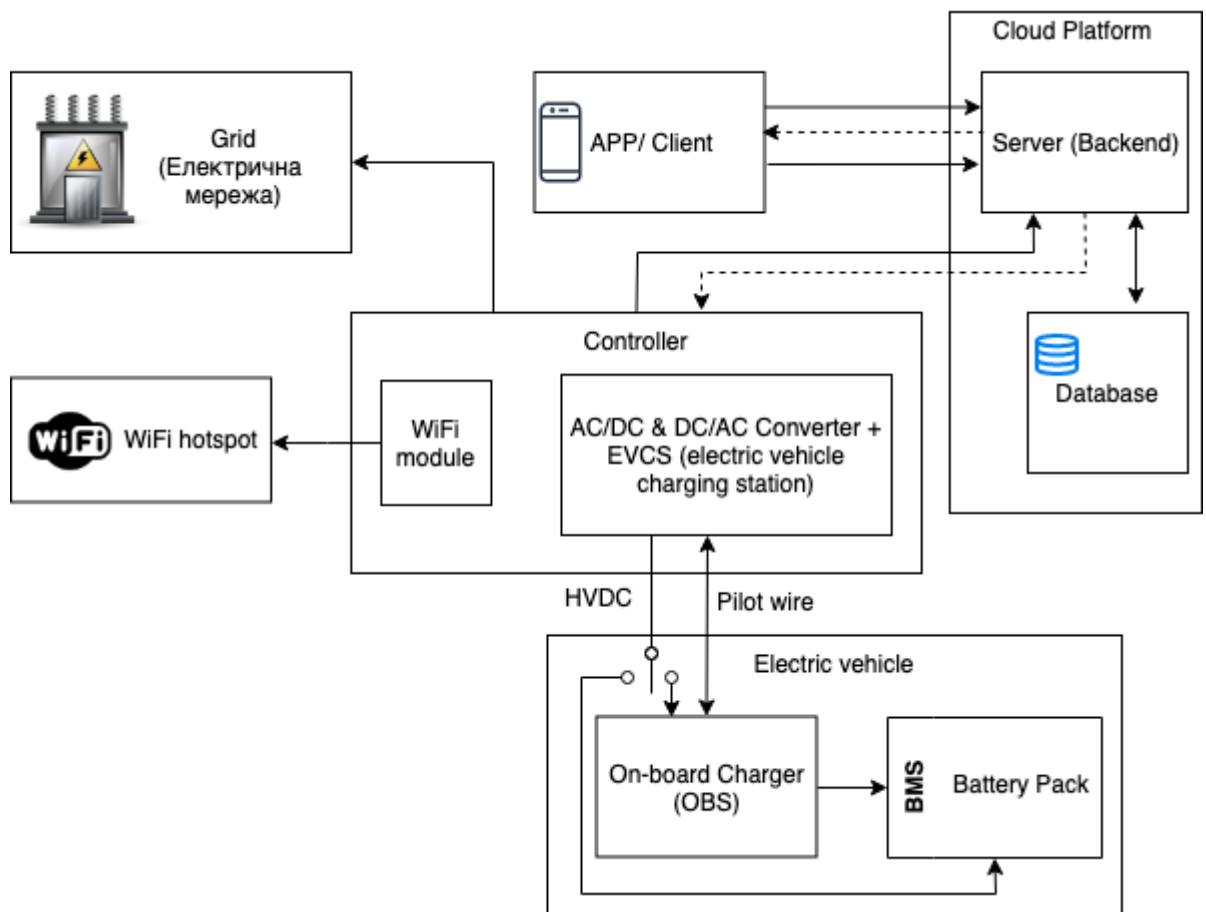


Рисунок 3.6 – Структурна схема IoT-додатка

Обладнання, яке становить станцію заряджання електричних транспортних засобів, у сукупності називають обладнанням для постачання електричних транспортних засобів (EVSE) або ECS, яка розшифровується як електрична зарядна станція.

EVSE розроблений для зарядки акумуляторної батареї, використовуючи сітку для подачі живлення; ці акумуляторні батареї можуть бути в електричному транспортному засобі (EV) або в електричному транспортному засобі (PEV).

Перш ніж приєднатися до станцій зарядки, важливо зрозуміти, що є всередині електроживлення та до якої частини зарядного пристрою буде підключено. Більшість EV сьогодні поставляються з бортовим зарядним пристроєм (ОВС), а виробник також забезпечує зарядний пристрій разом з автомобілем. Ці зарядні пристрої разом із вбудованим зарядним пристроєм може бути використаний клієнтом для зарядки свого електроживлення з

розетки будинку. Але ці зарядні пристрої є дуже простими і не мають будьяких вдосконалених функцій, а тому, як правило, потрібно зарядити близько 8 годин, щоб зарядити типовий EV.

Станції зарядки можуть бути класифіковані на два типи: станція зарядки змінного струму та станція зарядки постійного струму.

Станція зарядки змінного струму, як випливає з назви, забезпечує живлення змінного струму від сітки до EV, яка потім перетворюється на постійний струм за допомогою бортового зарядного пристрою для зарядки автомобіля. Ці зарядні пристрої також називають зарядні пристрої рівня 1 та 2, які використовуються в житлових та комерційних місцях. Перевагою станції зарядки змінного струму є те, що вбудований зарядний пристрій регулюватиме напругу та струм, як це потрібно для EV, отже, зарядний пристрій не повинен обов'язково повідомляти його. Недоліком є його низька вихідна потужність, яка збільшує час зарядки. Типова система зарядки змінного струму показана на рисунку 3.6. Як ми бачимо, змінного струму з мережі надходить безпосередньо в OBC через EVSE, OBC потім перетворює його в постійний струм і заряджає акумулятор через BMS. Провід Pilot використовується для визначення типу зарядного пристрою, підключеного до EV, та встановлення необхідного вхідного струму для OBC.

Станція зарядки постійного струму отримує живлення змінного струму від сітки та перетворює її на напругу постійного струму і використовує її заряджаючи акумулятор безпосередньо шляхом передачі бортового зарядного пристрою (OBS). Ці зарядні пристрої, як правило, виводять високу напругу до 600 В і струм до 400 А, що дозволяє заряджати EV менше ніж за 30 хвилин порівняно з 8-16 годин на зарядному пристрої змінного струму. Вони також називаються зарядні пристрої рівня 3 і широко відомі як постійні зарядні пристрої постійного струму (DCFC) або супер зарядні пристрої. Перевагою цього типу зарядного пристрою є його швидкий час зарядки, тоді як недоліком є його складна техніка, де йому потрібно спілкуватися з EV, щоб зарядити його ефективно та безпечно. Типова система зарядки постійного струму показана

нижче, як ви бачите, що EVSE надає постійний струм безпосередньо батареї в обхід OBS. EVSE розташований у стеках, щоб забезпечити високий струм, і одна стека не зможе забезпечити високий струм через обмеження живлення.

Зазвичай зарядні пристрої рівня 1 призначені для житлового використання, це зарядні пристрої, які постачаються виробниками разом із електромережею, які можна використовувати для зарядки електроживлення через стандартні розетки для будинку. Таким чином, вони працюють на однофазному живленні змінного струму і можуть виводити будь-де між 12А до 16А і займає близько 17 годин, щоб зарядити електроенергію 24 кВт.

Зарядний пристрій 1 рівня не має великої ролі в зарядних станціях.

Зарядний пристрій рівня 2 надається як оновлення для зарядного пристрою рівня 1, його можна встановити в будинку, за спеціальним запитом, за умови, що в будинку є роз'єм фазового електроживлення або його також можна використовувати в громадських / комерційних зарядних станціях. Ці зарядні пристрої можуть забезпечити вихідний струм до 80А завдяки високій вхідній напрузі і можуть заряджати EV за 8 годин. Зарядні пристрої 3 рівня або зарядні пристрої Super призначені лише для публічних зарядних станцій. Вони потребують багатофазного введення змінного струму з електромережі та споживають понад 240 кВт, що майже в 10 разів більше, ніж типовий кондиціонер в нашому будинку. Тож ці зарядні пристрої потребують спеціального дозволу мережі для роботи.

У зарядних пристроях змінного струму швидкість зарядки, тобто необхідний вхідний струм, фактично визначається самим EV. Не всі електроживлення вимагають однакової кількості вхідного струму зарядки, а отже, зарядний пристрій змінного струму повинен зв'язуватися з електромережею, щоб знати необхідний вхідний струм та здійснити рукошукання до того, як зарядка фактично може рочасузпочатися, це повідомлення називається провідним комунікаційним проводом.

Усі дії щодо статусу зарядки та вибору часу зарядки – виконує мікроконтролер Arduino Uno за допомогою WiFi технології: мікроконтролер

кожних 5 секунд робить TCP-запит на сервер з інформацією про пікові напруги, статус (увімкнена чи викинена зарядка, чи є напруга), для уникнення проблем з приладом піковими, навантаженнями та оперативного вирішення. І у відповідь від сервера, мікроконтролер отримує команди, які потрібно виконати у реальному режимі часу.

При першому підключенні контролера – зарядка показує хотспот, тобто підключення для WiFi мережі. За допомогою клієнтського додатка можливо обрати доступну мережу і під'єднатися до неї, для подальшого використання.

Для тестування та ко симуляції запропонованих алгоритмів з вирішення проблеми пікового попиту у цій роботі пропонується використовувати програми аналізу систем електроживлення, такі як PowerFactory, які дозволяють досліджувати дослідницькі питання у спеціально визначеному доменному середовищі. На рисунку 3.7 зображена UML діаграма компонентів системи, на якій відображаються компоненти, залежності та зв'язки між ними для симуляції за допомогою PowerFactory.

PowerFactory – це провідне програмне забезпечення для аналізу енергосистем для використання в аналізі системи генерації, передачі, розподілу та промислових систем. Він охоплює повний спектр функціональних можливостей від стандартних функцій до дуже складних та вдосконалених додатків, включаючи енергію вітру, розподілену генерацію, моделювання в режимі реального часу та моніторинг продуктивності для тестування та контролю системи. PowerFactory простий у використанні, повністю сумісний з Windows і поєднує надійні та гнучкі можливості моделювання системи із сучасними алгоритмами та унікальною концепцією бази даних. Також, завдяки своїй гнучкості для створення сценаріїв та взаємодії, PowerFactory ідеально підходить для високо автоматизованих та інтегрованих рішень у ваших бізнес-додатках.

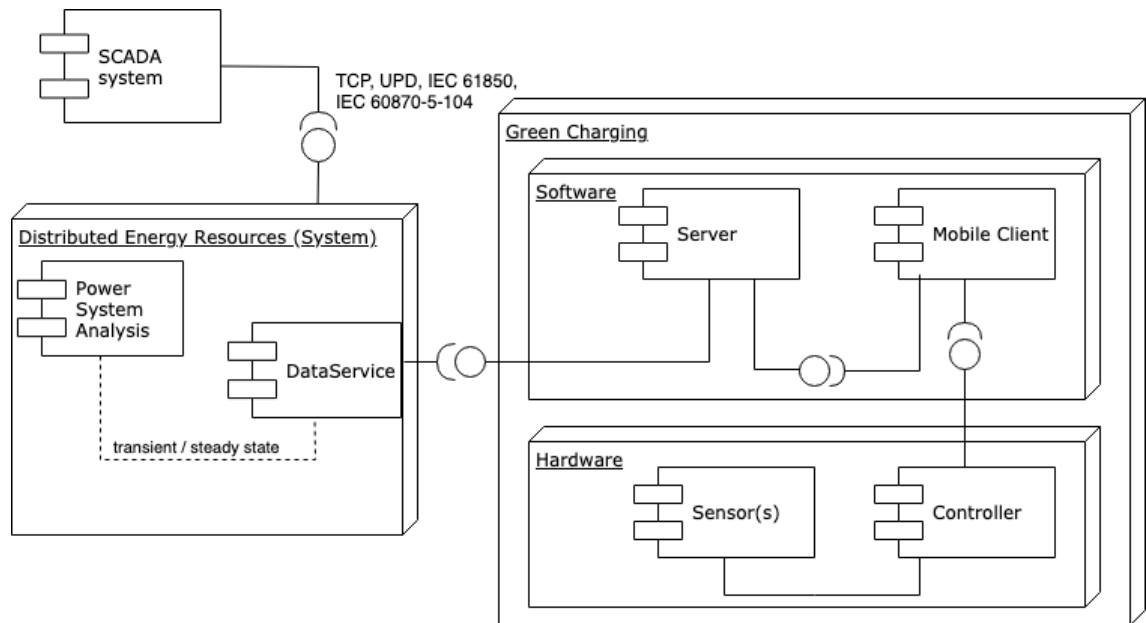


Рисунок 3.7 – UML діаграма компонентів спільного моделювання для перевірки SCADA/системи управління

Зі збільшенням складності в кіберфізичних системах необхідність в з'єднанні моделей або систем для моделювання стає непересічною. Використовуючи та розширюючи існуючі механізми взаємозв'язку, порівнюються плюси та мінуси для різних підходів сполучення в різних масштабах часу моделювання (стаціонарний, перехідний). Жорстке з'єднання з використанням стаціонарного моделювання разом із зовнішніми тренажерами значно підвищило продуктивність та зручність використання. У цій роботі показані різні можливості з'єднання програми моделювання системи електроенергії, а саме PowerFactory, з іншими безперервними та дискретними моделями подій та тренажерами. Обговорюються вибрані приклади програм спільного моделювання.

Для з'єднання симуляційного середовища PowerFactory з розподіленими контролерами був використаний інтерфейс OPC з сервером OPC. Зв'язок між контролером та інструментом SCADA здійснювався за допомогою стандартних протоколів зв'язку на основі Ethernet (наприклад, TCP / IP, UDP / IP, IEC 61850, IEC 60870-5-104). Огляд цього прикладу представлений на рисунку 3.7. Елементи управління можуть бути безпосередньо розгорнуті на



цільових платформах (наприклад, вбудована система) і мають суто керований подіями, що неможливо реалізувати в PowerFactory. На рисунку 3.8 також приведена блок-схема з процедурою спільного моделювання.

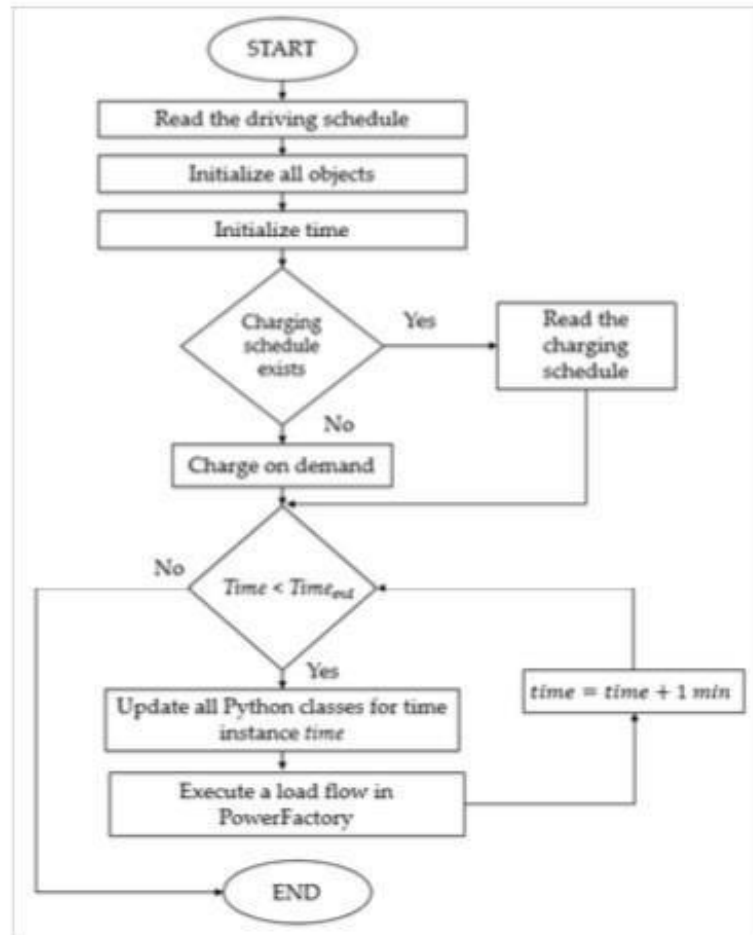


Рисунок 3.8 – Процедура спільного моделювання

### 3.3 Мікроконтролер

Визначившись з технологією передачі даних, та маючи загальну схему системи – необхідно обрати сам мікроконтролер для розроблюваної системи.

На ринку безліч мікроконтролерів з Wi-Fi модулем, їх вартість починається від 5\$. і закінчується 30-40\$.

Для проекту розглядається мікроконтролер Arduino Uno. Це мікроконтролерна плата на базі ATmega328P. Він має 14 цифрових штифтів вводу / виводу, 6 аналогових входів, кварцовий кристал 16 МГц, USB з'єднання, роз'єм живлення, заголовок ICSP та кнопку скидання. Він містить все

необхідне для підтримки мікроконтролера, треба тільки підключити до комп'ютера за допомогою кабелю USB або підключити за допомогою адаптера змінного струму до акумулятора постійного струму або батареї, щоб почати роботу.

Але в обраного мікроконтролера є суттєвий недолік є один визначний мінус: за вимогами система має використовувати WiFi технологію та зв'язуватись з сервером за допомогою інтернет підключення, а Arduino Uno не має WiFi модулю. Приєднати Arduino до Інтернету, можливо додавши модуль WiFi ESP8266. Модуль ESP8266 Wifi - це повна мережа WiFi, де можна легко приєднатися як обслуговуючий адаптер Wi-Fi, бездротовий інтерфейс доступу до Інтернету до будь-якого дизайну на основі мікроконтролера за його простого підключення через послідовне спілкування або інтерфейс UART.

Для IoT-проекту було обрано мікроконтролер Arduino Uno та ESP8266. Arduino Uno - бо він має розширені параметри, чудову документацію та велику кількість додаткових програмних забезпечень, що спрощують розробку. До того ж цей мікроконтролер має оптимальну ціну (20\$). Мікроконтролер ESP8266, бо він є недорогим (5\$) мікроконтролером з Wi-Fi модулем з повним TCP/IP стеком та можливістю виконувати програми з зовнішньої флеш-пам'яті з інтерфейсом SPI.

Наш ESP8266 буде служити точкою доступу, тобто він забезпечить доступ до мережі Wi-Fi до інших пристроїв (станцій) і надалі підключатиме їх до дротової мережі. На рисунку 3.9 приведено процес комунікації Arduino та ESP8266 мікроконтролерів.

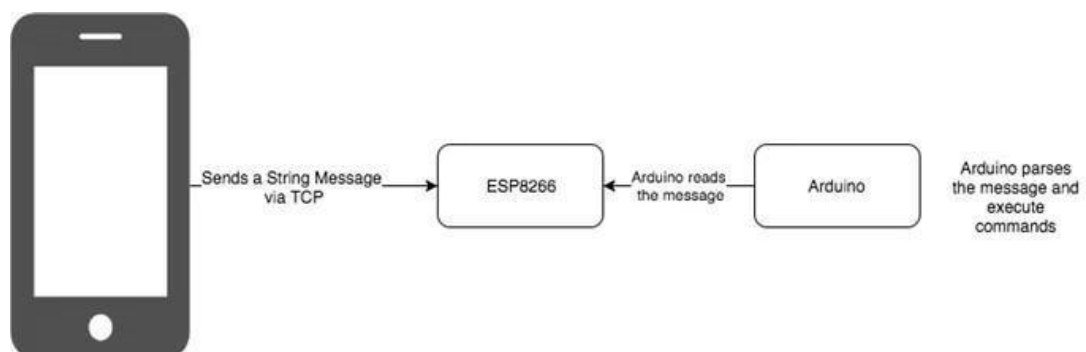


Рисунок 3.9 – Процес комунікації Arduino та ESP8266

Як вказано на схемі – Arduino, кожні 5s (5000 ms) буде надіслати команду серверу з інформацією щодо статусу зарядки, потужності постачаємого току та інше, щоб оперативно реагувати на різні зміни та пікові навантаження. А з сервера у відповідь буде приходити команда, викликається клієнтським додатком. За допомогою ESP8266 все працюватиме бездротово. Тому об'єднаємо ESP8266 мікроконтролер та Arduino Uno, для досягнення цілей, що обумовлені вимогами. Схема підключеного ESP8266 до Arduino Uno зображено на рисунку 3.10.

Для підключення WiFi модуля потрібно виконати наступні дії:

- 1) підключити як VCC / 3.3V / Power Pin and Enable Pin до резистора 10 К, а потім до 3,3 В Power Pin Uno.
- 2) підключити Ground/GND Pin ESP до Ground/GND Pin Uno.
- 3) підключити TX ESP до контакту Uno's 3.
- 4) підключити RX ESP до резистора 1К, потім до Pin 2 Uno.
- 5) підключити RX ESP до резистора 1К, потім до GND Pin Uno.

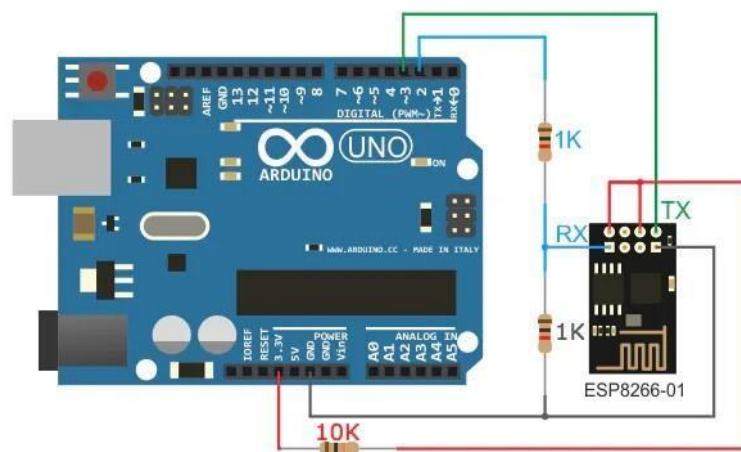


Рисунок 3.10 – Схема підключеного ESP8266 до Arduino Uno

Далі потрібно написати функцію комунікації з ESP8266 та інтерпретатор повідомлень для Arduino Uno, використовуючи язык програмування C++.

Після налаштування можемо відтворювати комунікацію між контролером та клієнт-сервером за допомогою TCP-запитів.

### 3.4 Методика та запропоновані алгоритми

#### 3.4.1 Методика

Існує дві перспективи планування електричних машин, які можна спостерігати незалежно або у взаємозв'язку один з одним; планування маршрутів та графік зарядки.

Завдяки тому, що система пропонує обрати маршрут за яким буде йти електротранспортний засіб, або час і місце де потрібна зарядка – кожна машина має вже визначений час прибуття та відправлення. Час між ними може бути використаний для зарядки. На малюнку 4 наведено графічне зображення згаданої шкали часу. Блоки представляють машини. Кожна машина черпає живлення з сітки для двох різних завдань, зарядки та попередньої підготовки. Попередня підготовка, це коли під час зарядки, електротранспортний засіб працює, наприклад для обігріву або інших цілей (це зручно для водія у дорозі: коли користувач може заряджати транспорт не виходячи з машини). Під час використання системи клімат контролю – зарядк елетротранспортного засобу зменшується на 6-8% від звичайних витрат. Відповідно, існує два типи блоків, блоки зарядки та попереднього кондиціонування. Вони можуть перекриватися або виникати в різні часові інтервали. Довжина блоку - це час, необхідний для попередньої кондиціонування / зарядки. Висота блоку - це потреба в потужності машини, нормалізована на основі максимальної потужності зарядки. Максимальна потужність зарядки визначається з урахуванням потужності, що подається на станцію електрозарядки.

Час зарядки залежить від ємності акумулятора і потужності зарядки. Простіше кажучи, швидкість заряджання залежить від типу рівня зарядки, а рівень зарядки залежить від напруги на акумуляторах і зарядному пристрої в

автомобілі. Що знаходиться в США SAE International визначає Рівень 1 (домашнє напруга 120 В змінного струму) як найповільніший, Рівень 2 (покращене побутове напругу 240 В змінного струму) всередині і Рівень 3 (суперзарядка, 480 В постійного струму або вище) якнайшвидший. Час зарядки рівня 3 може становити до 30 хвилин для заряду 80% [46]. Час зарядки можна розрахувати за формулою 3.2:

$$T_{\text{зар.}} = \frac{\text{ємність акумулятора [кВт} \cdot \text{год]}}{\text{потужність зарядки [кВт]}} + 0.15 [\text{год}] \quad (3.2)$$

де 0.15 – значення похибки вимірювань

Час зарядки з урахуванням попередньої підготовки:

$$T_{\text{з поп. підгот.}} = (\text{ємність акумулятора [кВт} \cdot \text{год]} \cdot (100\% + \text{поп. підгот. [\%]})) / (\text{потужн} \quad (3.3)$$

Для нашої задачі припустимо, що доступна потужність зарядки – 120 кВт.

Можливі два варіанта зарядки:

- машина заряджається і немає попередньої підготовки;
- попередня підготовка активна, і машина заряджається.

Блоки зарядки можна вільно переміщувати у часовому вікні між часом прибуття та відправлення.

Певна кількість машин на рисунок 3.11 вже прибула до електростанції і почала заряджати (білі блоки на рисунку). Кількість машин, що стягують одночасно, безпосередньо відповідає навантаженню на електрозаправці. Проблема визначається наступним чином: де саме між часом його прибуття та відправлення слід заряджати новий електрокар з id 27, що прибуває (зелений блок на малюнку), щоб мінімізувати кількість машин, які одночасно стягують електроенергію та кошти?

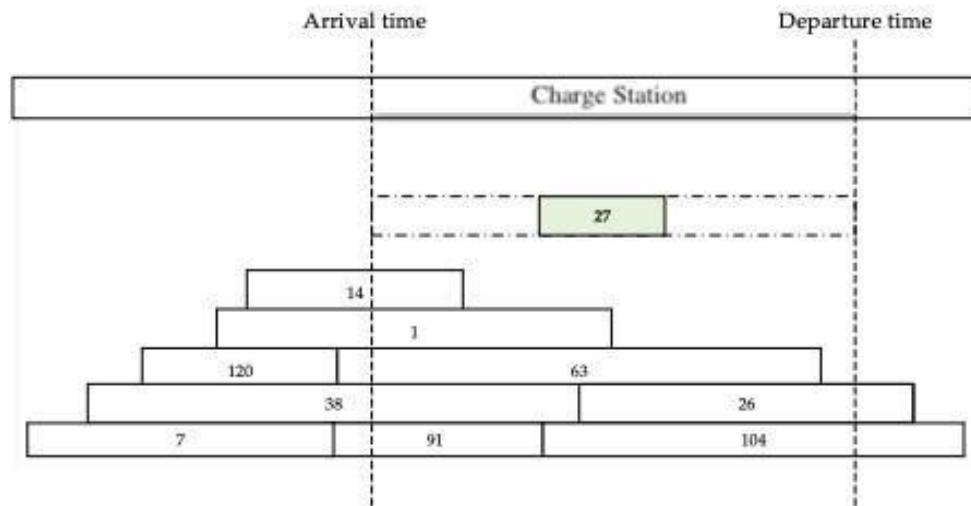


Рисунок 3.11 – Графічне зображення задачі планування вже з кількома випадковими зарядками машин (білі блоки) та новим електрокаром з id 27, що прибуває до зарядної станції (зелений блок).

Спостерігаючи зарядання EV як непередбачуване завдання, легко звести задану проблему до класичної проблеми планування роботи. Дві дуже схожі варіанти цієї проблеми вже є проаналізовано:

- планування з часом випуску та термінами на мінімальній кількості машин;
- планування запланованих завдань, щоб мінімізувати піковий попит.

Тож треба запропонувати точний алгоритм, наближення та просту евристику проблеми планування непередбачуваних завдань для мінімізації пікового попиту в інтелектуальній сітці.

Однак у цьому дослідженні зосереджена робота, що не змінюється за розміром. Використовуючи приклад із рисунку 3.11, це означатиме, що блоки мають фіксовану довжину. З іншого боку, у проблемі з зарядними станціями і зарядкою машин вважається роботою, що змінюється. Зміна розміру зарядки відбувається через попередню підготовку, як показано на рисунку 3.12. Машина з id 27 прибула до до електрозаправки о 23:00 ввечері і знову

відправляється о 02:00 годині. Її потрібно заряджати протягом 75 хв з максимальною потужністю 150 кВт.



Рисунок 3.12 – Зміна довжини зарядного блоку (зелена) за рахунок блоку попередньої кондиціонування (синій) для двох різних сценаріїв: (а) відсутність перекриття з попередньою кондиціонуванням; час зарядки - 1 год. 50 хв. і (б) перекриття з попередньою кондиціонуванням протягом 15 хв; час зарядки - 2 год. та 2 хв.

Час 05:00-06:00 є підготовкою машини, перед її відправленням. Переміщення заряджання EV на ранкові години, коли воно, можливо, перекривається з кондиціонуванням, та продовжить час, необхідний для зарядки. Це пов'язано зі зниженням потужності зарядки до максимуму 85кВт.

### 3.4.2 Вирішення проблеми пікового попиту

Проблема планування зарядки машини визначається аналогічно проблемам планування завдань. Машина  $b$  має час прильоту  $a_b$ , час відправлення  $d_b$ , час початку зарядки  $s_b$ , довжину зарядки  $l_b$  і висоту  $h_b$ .

Машина може заряджатися в інтервалі  $[a_b, d_b]$  при наступній умові.

$$d_b - a_b \geq l_b > 0. \quad (3.4)$$

Різниця  $d_b - a_b - l_b$  визначається як час зсуву  $\delta_b$ . Якщо різниця  $d_b - a_b - l_b$  дорівнює тривалості часу зарядки  $l_b$ , час зсуву дорівнює нулю. У випадку є лише один можливий інтервал зарядки для машини. Якщо з іншого боку,  $\delta_b > 0$  існує кілька можливих інтервалів зарядки для машини. Інтервал забивання визначається як  $[s_b, s_b + l_b]$ , при наступній умові

$$[s_b, s_b + l_b] \in [a_b, d_b]. \quad (3.5)$$

Усі можливі інтервали зарядки машини  $b$  визначаються кортежем  $P_b$  так, що

$$P_b = \{[s_b, s_b + l_b], s_b = a_b + \delta, \text{ для } \delta = 0, 1, \dots, \delta_b\} \quad (3.6)$$

При обчисленні інтервалів з кортежу  $P_b$  необхідно обчислити довжину  $l_b$  для кожного можливого інтервалу, оскільки ця довжина може змінюватися через попередню умову.

Загальна висота  $H$  на момент часу, екземпляр  $t$ , – сума всіх висот машини, що заряджаються на той час:

$$H(t) = \sum_{b, t \in [s_b, s_b + l_b]} h_b \quad (3.7)$$

Піковий попит – найбільша висота  $H_{\max}$ , що виникає протягом повного аналізованого періоду  $[0, T]$ . Мета полягає в тому, щоб мінімізувати  $H_{\max}$  шляхом призначення по одному інтервалу зарядки для кожної машини з її пакету всіх можливих інтервалів зарядки  $P_b$ .



### 3.4.3 Системні обмеження

Основне обмеження, що розглядається тут, – це потужність, доступна утиліті. Тип заряду (повільний, середній, швидкий), час наявності на стоянці, мінімальний бажаний стан заряду плагін, максимальна ціна, яку користувач готовий заплатити за зарядку, максимальна потужність, яка може бути інші можливі обмеження, поглинені акумулятором автомобіля, інші вимоги до акумулятора тощо. Користувач також може вказати кількість миль, які він / вона планує проїхати після виходу з розетки, в цьому випадку - SoC досягнення цього буде гарантовано під час використання плагіну. Ще одне обмеження для iEMS могло б бути з точки зору компонування паркувальної майданчика, розміри та потужність кабелів встановлять обмеження на потужність які можуть бути спрямовані на кожен транспортний засіб.

Для більш надійної системи ми могли б розглянути можливість різкого виходу з користувачем до зазначеного часу, і в цьому випадку метою буде певна справедливість у розповсюдження SoC на кожному кроці, щоб мати розумний SoC ще до того, як плагін. Додаткові обмеження в системі можуть бути з точки зору наявності пропускну здатності каналу зв'язку для відбору проб стану транспортних засобів, що обмежило б час відбору проб.

Продуктивність системи з затримкою пакетів і падінням також можна оцінити. Кінцева мета Інтелектуальної системи управління енергією - бути гнучким в умови прийняття кількох цілей для різних користувачів. Це також відкриває можливість поділ станції на кластери, групування транспортних засобів/користувачів із загальними цілями та призначення їх відповідальність за оптимізацію кожного кластеру до під-iEMS, тим самим перекладаючи проблему в арена розподіленого управління. Рішення про те, скільки повноважень буде виділено кожному під-iEMS зроблені центральною Інтелектуальної системи управління енергією або можуть також бути результатом тендерних дій суб-Інтелектуальної системи управління енергією.

#### 3.4.4 “Жадібний” алгоритм

“Жадібний” алгоритм – це простий, прямолінійний алгоритм, що полягає в прийнятті локально оптимальних рішень на кожному етапі, допускаючи, що кінцеве рішення також виявиться оптимальним.

Зазвичай, жадібний алгоритм базується на п'яти принципах:

- Набір можливих варіантів, з яких робиться вибір;
- Функція вибору, за допомогою якої знаходиться найкращий варіант;
- Функція придатності, яка визначає придатність отриманого набору;
- Функція цілі, оцінює цінність рішення, не виражена явно;
- Функція розв'язку, яка вказує на те, що знайдене кінцеве рішення.

Отже, алгоритм використовує просту жадібну логіку. Він визначає межу максимально дозволених висоти  $\tau_{max}$ . Алгоритм вибирає інтервали зарядки для кожної машини, щоб  $H_{max} \leq \tau$ . Ліміт  $\tau_{max}$  ітераційно зменшується до тих пір, поки можна запланувати всі завдання зарядки. Найменший ліміт, для якого алгоритму вдається запланувати всі завдання, вважається мінімальним піковим попитом. Перш ніж виконати алгоритм, потрібно виконати наступні кроки.

- 1) Спланувати всі попередні умови роботи (ці завдання зафіксовані і їх не можна перенести).
- 2) Обчислити усі можливі інтервали зарядки для всіх машин і запишіть їх у кортеж  $P_b$ .
- 3) Організувати всі машини за зростанням за часом прибуття.
- 4) Ініціалізувати межу  $\tau_{max} = c \times \text{number of evs}$ , де  $c$  - є коефіцієнтом згортання, а  $\text{number of evs}$  - кількість електротранспортних засобів на станції.

Коефіцієнт згортання  $c$  залежить від кількості машин на електрозаправці. Коефіцієнт згортання  $c$  - це обмеження кількості машин, які можуть заряджати одночасно, не впливаючи на сам процес зарядки. Наприклад, у машини з id 27

коефіцієнт згортання становить 54%. Таким чином,  $\tau_{max}$  ініціалізується з  $c = 0,54$ .

На рисунку 3.13 показана блок-схема запропонованого алгоритму для сценарію  $n$  машин. Змінна  $MinPeak$  представляє мінімальний піковий попит.

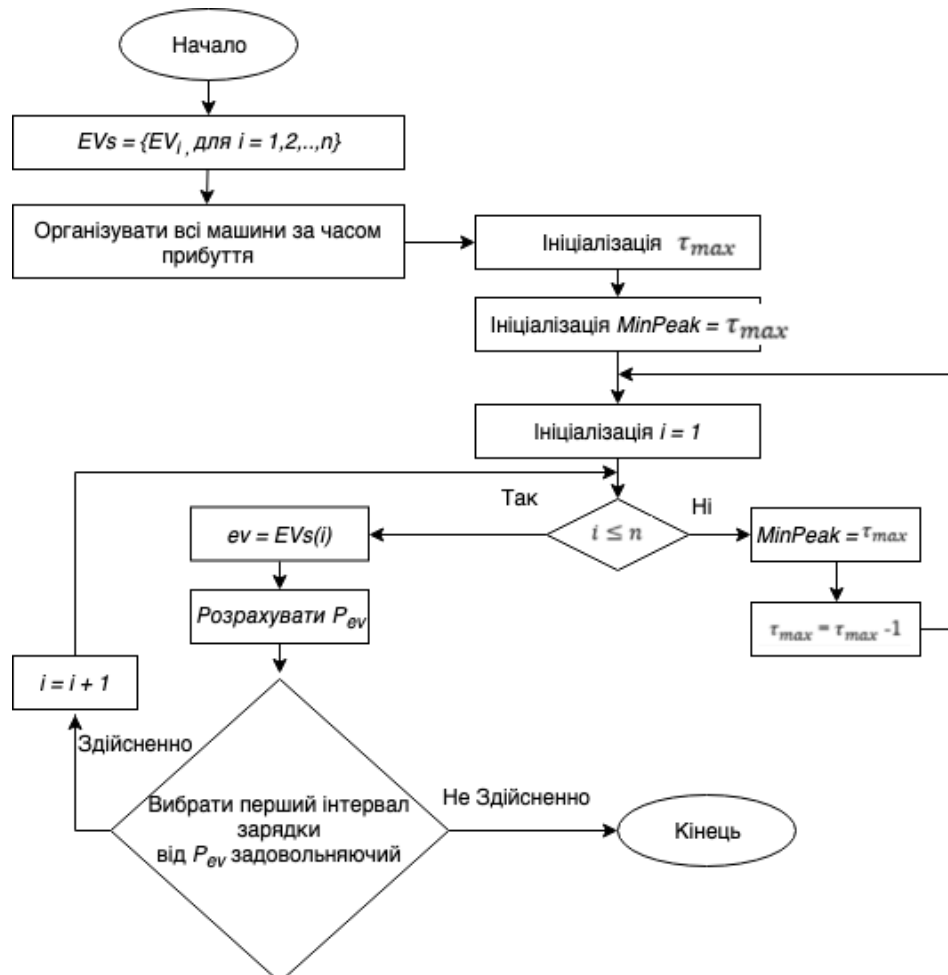


Рисунок 3.13 – Блок-схема жадібного алгоритму

Організація машин за часом прибуття - важливий крок для цього алгоритму. Це дозволяє машинам заряджати якнайшвидше, як правило, в крайній лівій частині доступного інтервалу  $[ab, db]$ .

### 3.4.5 Евристичний алгоритм

Цей алгоритм вибирає інтервали зарядки для кожної машини, так що  $H_{max} \leq \tau_{max}$ . Межа  $\tau_{max}$  скорочується ітераційно до тих пір, поки можна запланувати всі завдання з оплати. Найменша межа для якого алгоритм вдається запланувати всі завдання, вважається мінімальним піковим попитом.

Додаткова змінна  $H_{interval}$  визначається як сума всіх висот за один інтервал зарядки  $[s_b, s_b + l_b]$ :

$$H_{interval} = \sum_{t=s_b}^{s_b + l_b} h_t \quad (3.8)$$

Перш ніж виконати алгоритм, необхідно виконати наступні кроки.

- 1) Спланувати всі попередні умови роботи (ці завдання фіксовані і їх не можна перенести).
- 2) Обчислити усі можливі інтервали зарядки для всіх автомобілів і запишіть їх в кортеж  $P_b$ .
- 3) Організувати всі машини, за часом їх прибуття.

Діаграма алгоритмів для сценарію  $n$  машин представлена на рисунку 3.14. Найбільший  $H_{max}$ , що впливає з представленої логіки, - це мінімальний піковий попит.

Алгоритм спочатку планує машини без  $\delta_b$ . Ці завдання визначені в часі і їх неможливо змістити. Таким чином алгоритм залишає завдання, які є більш гнучкими для подальшого планування. Електротранспортні засоби з великим  $\delta_b$  заплановані останніми. Через їх гнучкості існує велика ймовірність планування без подальшого збільшення висоти  $H_{max}$ .

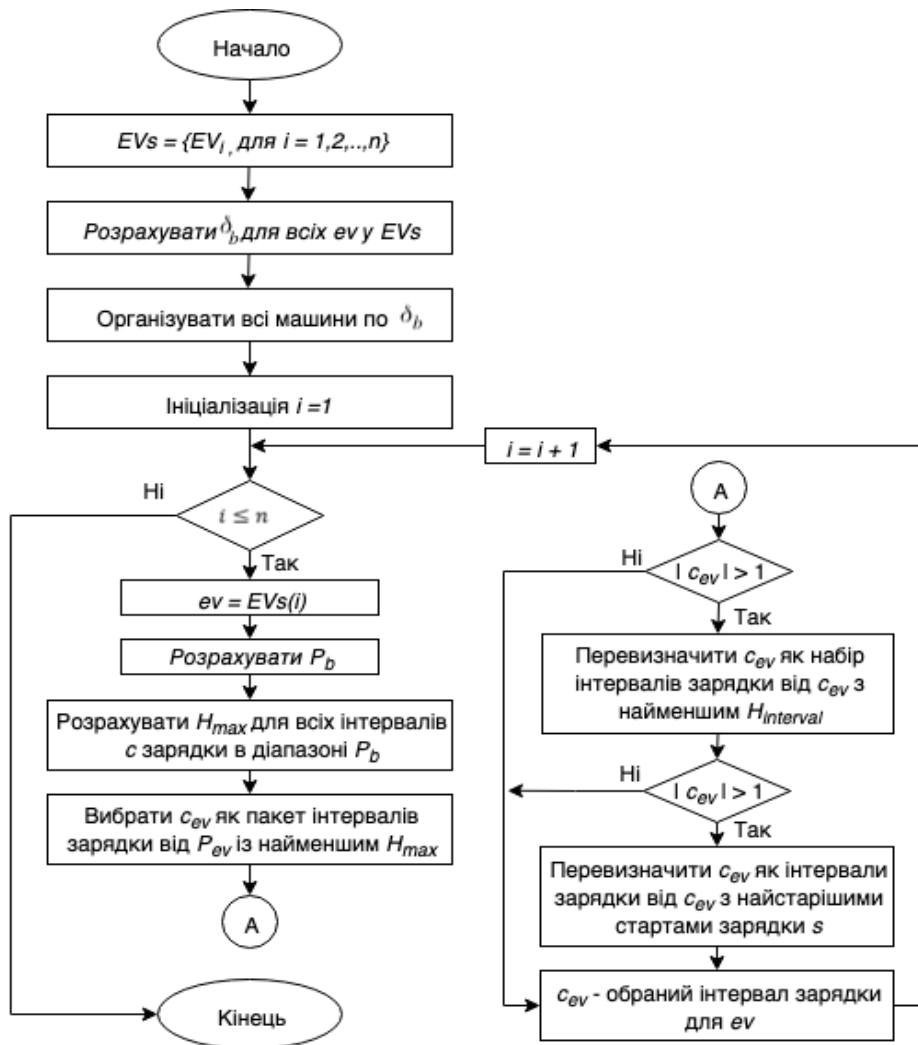


Рисунок 3.14 – Блок-схема, що представляє евристичний алгоритм

### 3.4.6 Реалізація алгоритму

Для запуску алгоритму з оптимізації та планування пропонується використати OR-Tools із відкритим кодом від компанії Google.

OR-Tools – це програмний пакет із відкритим кодом для оптимізації, налаштований на вирішення найскладніших проблем у світі в маршрутизації транспортних засобів, потоках, цілочисленному та лінійному програмуванні та програмуванні обмежень. Після моделювання вашої проблеми на мові програмування, обраної вами, ви можете використати будь-який з півдюжини вирішувачів, щоб вирішити її: комерційні рішення, такі як Gurobi або CPLEX, або розв'язувачі з відкритим кодом, такі як SCIP, GLPK, або Google GLOP і нагороди Google, вигравши CP-SAT.

OR-Tools - це програмне забезпечення з відкритим кодом для

комбінаторної оптимізації, яке прагне знайти найкраще рішення проблеми із дуже великого набору можливих рішень. Ось кілька прикладів проблем, які вирішує OR-Tools:

Маршрут руху автомобіля: Знайдіть оптимальні маршрути для автопарків, які приймають та доставляють пакети із обмеженнями (наприклад, "ця вантажівка не вміщає більше 20 000 фунтів" або "всі поставки повинні здійснюватися протягом двох годинного вікна").

Планування: знайти оптимальний графік складного набору завдань, деякі з яких потрібно виконати перед іншими, на встановленому наборі машин чи інших ресурсів.

Упаковка для сміття: запакуйте якомога більше предметів різного розміру у фіксовану кількість контейнерів із максимальною місткістю.

У більшості випадків подібні проблеми мають величезну кількість можливих рішень - занадто багато, щоб комп'ютер шукав їх усіх. Щоб подолати це, OR-Tools використовує сучасні алгоритми, щоб знизити набір пошуку, щоб знайти оптимальне (або близьке до оптимального) рішення.

OR-Tools - це програмне забезпечення з відкритим кодом для комбінаторної оптимізації, яке прагне знайти найкраще рішення проблеми із дуже великого набору можливих рішень. Ось кілька прикладів проблем, які вирішує OR-Tools:

- маршрут руху автомобіля;
- планування: знайти оптимальний графік складного набору завдань, деякі з яких потрібно виконати перед іншими, на встановленому наборі машин чи інших ресурсів;
- упаковка для сміття: запакуйте якомога більше предметів різного розміру у фіксовану кількість контейнерів із максимальною місткістю.

Також OR-Tools включають розв'язувачі для:

- програмування обмежень: набір методів пошуку можливих рішень проблеми, виражених обмеженнями (наприклад, приміщення не може використовуватися для двох подій одночасно, або відстань до посівів має бути

менше довжини шланга або не більше п'яти Телевізійні шоу можна записувати відразу);

– лінійне та змішане цілісне програмування. Лінійний оптимізатор Glop знаходить оптимальне значення лінійної цільової функції, враховуючи набір лінійних нерівностей як обмеження (наприклад, призначення людей на роботу або пошук найкращого розподілу набору ресурсів при мінімізації витрат);

– маршрут руху автомобіля. Спеціалізована бібліотека для визначення найкращих маршрутів транспортних засобів з урахуванням обмежень;

– алгоритми для пошуку найкоротших шляхів у графіках, мінімальних потоках витрат, максимальних потоків та лінійних призначень суми.

### 3.5 Swagger/API специфікація та розробка користувацького інтерфейсу додатку

Swagger - це програмне середовище з відкритим вихідним кодом, яка спирається на велику екосистему інструментів, яка допомагає розробникам проектувати, створювати, документувати і використовувати веб-сервіси RESTful. У той час як більшість користувачів ідентифікують Swagger за допомогою інструменту призначеного для користувача інтерфейсу Swagger, набір інструментів Swagger включає підтримку автоматичної документації, генерації коду і генерації тестових прикладів. Swagger підтримує безліч мов програмування і фреймворків. Swagger дає можливість не тільки інтерактивно переглядати специфікацію, а й відправляти запити - так званий Swagger UI. Специфікація для цього проекту було складено і представлено у форматі YAML, який можна побачити у повному обсязі у прикладі Б.1.

### 3.5.1 Моделі електротранспортних засобів

Для зарядки електро транспортного засобу, потрібно визначити його тип та модель, бо у кожної машини різні параметри, які впливають на доступну швидкість зарядки. Тому користувач повинен мати можливість додавати новий автомобіль і змінювати його параметри.

#### 3.5.1.1 Список електротранспортних засобів користувача

Під час першого запуску програми нам потрібно отримати список усіх доступних автомобілів із сервера.

Наступного разу, коли отримуємо інформацію з сервера, нам потрібно порівняти змінну "version". Якщо на сервері щось оновилося, нам потрібно перезавантажити список машин. Поточний "version" слід зберігати локально.

Список автомобілів можна отримати за GET запитом /get\_car\_models. За допомогою Swagger UI можна подивитися запрос get\_car\_models та відповідь на нього (рис. 3.15). Список моделей автомобілів слід зберігати локально.



GET /get\_car\_models

Parameters Try it out

Name	Description
<b>token * required</b> string(\$uuid) (header)	current session token

token - current session token

Responses Response content type: application/json

Code	Description
200	Car models list.

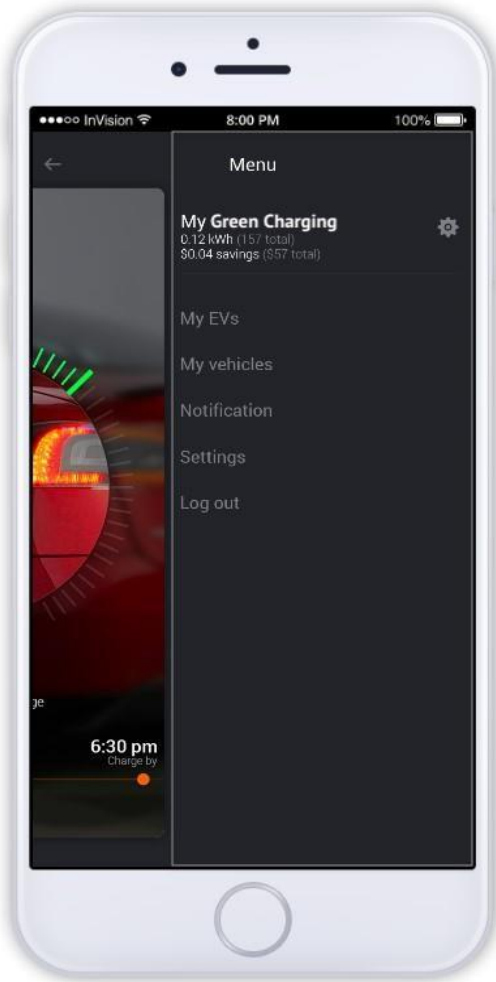
Example Value | Model

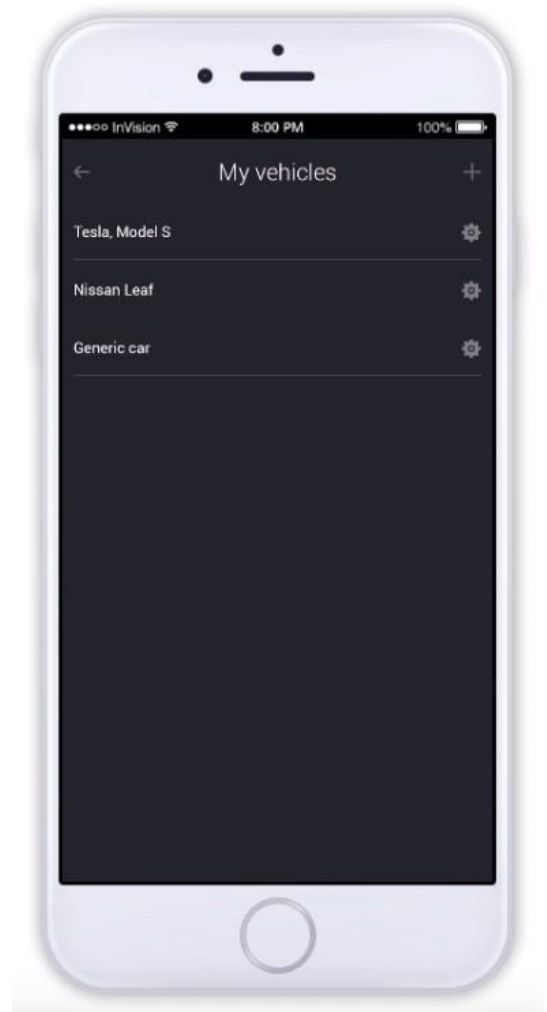
```
{
  "success": true,
  "version": "486BA",
  "models": [
    {
      "model_id": "30978",
      "description": "2008 MINI MiniE",
      "make": "MINI",
      "model": "MiniE",
      "year": 2008,
      "range_m": 160934,
      "range_city_m": 0,
      "range_highway_m": 0,
      "battery_size_wh": 35000,
      "charging_rate_w": 3300,
      "images": {
        "charging": "https://MyGreenCharging.com/Content/carmodels/default02.jpg",
        "default": "https://MyGreenCharging.com/Content/carmodels/default02.jpg"
      }
    }
  ]
}
```

Рисунок 3.15 – запит get\_car\_models у Swagger UI

Усі дії у додатку користувач може здійснювати попередню переходячи на потрібну сторінку у панелі меню (рис. 3.16, а), що з'явиться на будь якій сторінці за допомогою простого жесту – змахування одним пальцем справа на ліво. Таким чином для користувача сценарій перегляду усіх доступних та підключених електротранспортних засобів можливо таким чином: смахнути ліво, обрати “My Vehicles”.

На екрані “My Vehicles”, зображеному на рисунку 3.16 (б), користувач може обрати електротранспортний засіб і відредагувати його параметри або видалити його зі списку.





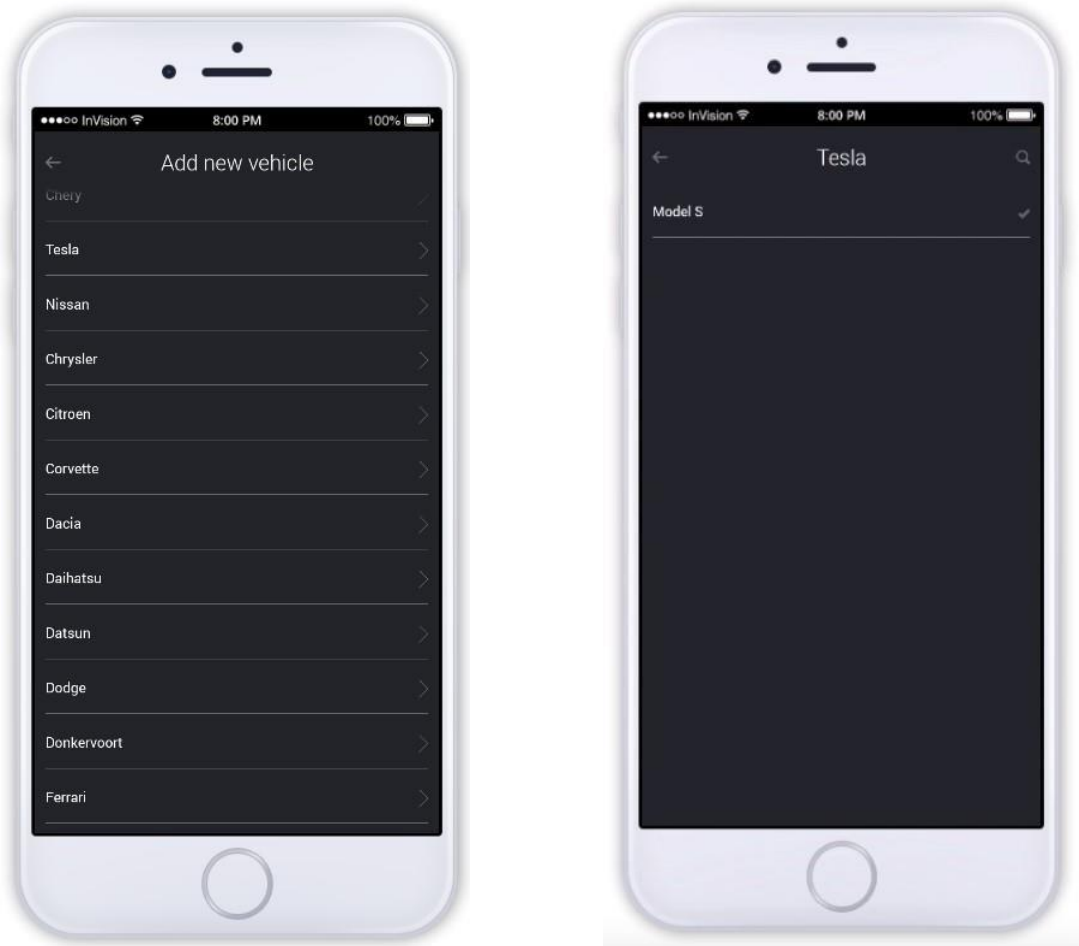
а)

б)

Рисунок 3.16 – Інтерфейс користувача панелі вибору сторінок та (б) сторінки зі списком всіх підключених машин

### 3.5.1.2 Додання та видалення електротранспортного засобу

Зі сторінки “My Vehicles” можливо перейти на сторінку “Add new vehicle” (рисунок 3.17, а), і додати нову машину до профіля користувача.



а)

б)

Рисунок 3.17 – Сторінки вибору бренда (а) та моделі машини (б)

Коли користувач виконує дію "дати електротранспортний засіб", ми повинні показати список постачальників електротранспортних засобів. Коли користувач вибирає продавця автомобіля, ми показуємо список моделей автомобілів. Коли користувач вибирає модель автомобіля, ми показуємо список років виробництва. Додати вибраний автомобіль у гараж можливо за POST запитом /add\_car.

Інтерфейс сценарію додавання машини включає в себе:

- 1) кнопка "Управління автомобілями" в панелі Меню;
- 2) кнопка «+», щоб розпочати процес додавання автомобіля, за допомогою якої можливо створити список активних автомобілів на пристрої;

- 3) "Список усіх автомобілів" з усіма постачальниками автомобілів;
- 4) "Усі моделі автомобілів" з усіма моделями автомобілів;
- 5) «Роки виробництва» для переліку виробничих років;
- 6) "Інформація про автомобіль" з усіма параметрами автомобіля (який можна редагувати);
- 7) на сторінці «Деталі зарядки автомобіля» наявна кнопка "Вибрати автомобіль";
- 8) спливаюче вікно з поточним списком автомобілів у гаражі, щоб вибрати автомобіль для зарядки.

Для видалення одного електротранспортного засобу зі списку автомобілів у гаражі потрібно скористатися DELETE запитом `/delete_car` з параметром `token`, тілом з `device_id`, `account_token` та `car_id`. У випадку успішного проходження запиту – слід зробити локальні зміни для відображення нового списку автомобілів.

### 3.5.1.3 Оновлення інформації про електротранспортний засіб

Після вибору моделі автомобіля користувач може додати опис та змінити основні параметри автомобіля (рисунок 3.18). Далі користувач натискає кнопку збереження і ми надсилаємо PUT запит `/update_car` на сервер з параметрами наведеними у прикладі 3.1. Параметри залежать від змін (тобто не буде параметра `"battery_size_wh"`, якщо не буде змін `"battery_size_wh"`).

#### Листинг 3.1 – Тіло PUT запита `/update_car`

```
{
  "battery_range_m": 220000,
  "car_id": 12079,
  "battery_size_wh": 10000,
  "charging_rate_w": 30000,
  "description": "2016 BMW X5 eDrive 40e",
```

```

"model_id": "37052",
"info": {
  "account_token": "560a43db-0996-4e88-b11a-af175f7b3e31",
  "device_id": "A5D9E803-C944-458B-8CF9-AA7A3B368E33"
}
}

```

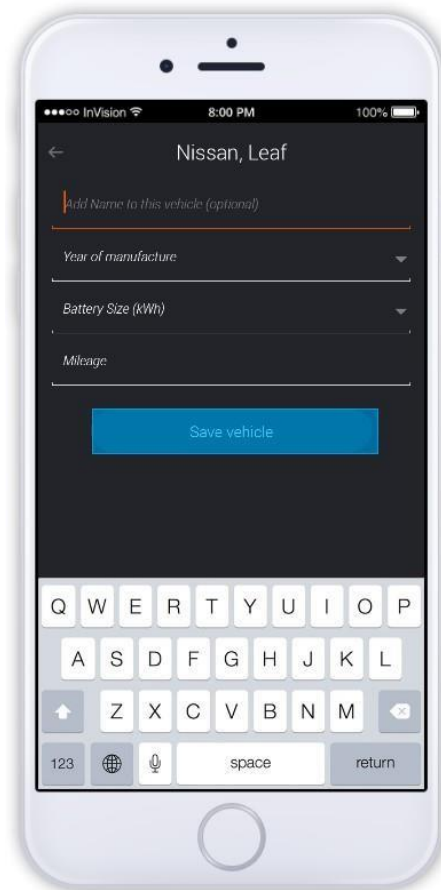


Рисунок 3.18 – Сторінка редагування основних параметрів електротранспортного засобу

Для оновлення списку доданих машин потрібно проаналізувати поле "car" з відповіді на запит "get\_info". Якщо автомобіль буде доданий з іншого мобільного пристрою, нам потрібно додати цю машину локально.

Під час вибору автомобіля нам потрібно оновити параметри зарядки відповідно. Ми повинні розглянути місцевість для показу миль / кілометрів тощо. Список автомобілів слід кешувати локально. Слід оновлювати версію бази даних автомобілів для оновлення автомобілів db, якщо її оновлення на сервері.

### 3.5.2 Базова інформація про пристрій та користувача

Для реєстрації у додатку клієнт викликає POST запит `/signup` до сервера, з інформацією, що ввів користувач (приклад 3.2).

#### Листинг 3.2 – Тіло POST запита `/signup`

```
{
  "name_is_different_in_bill": false,
  "post_code": "94070",
  "phone_number": "+380953453292",
  "address": "Ukraine",
  "city": "Kharkov",
  "country": "Ukraine",
  "first_name": "Julia",
  "last_name": "Kulykivska",
  "images": [
    "http://localhost:8080/a936b1ff-960a-4163-b786-
f24d211f8e55"
  ],
  "service_address": "Ukraine",
  "service_city": "Kharkov",
  "email": "kulykivska_yuliya@gmail.com",
  "password": "string"
}
```

### 3.5.3 Зарядка та планування

Для вільного користування додатком потрібно здійснити вхід за допомогою POST запиту `/login`.

Коли ми показуємо список пристроїв, нам потрібно отримати інформацію про стан пристрою та інформацію про пристрій. Отже, для кожного пристрою нам потрібно виконати 2 запити - `get_info` (показати групу завантаження, політику) та `get_state` (показати статус: "офлайн", підключений тощо). Коли користувач вибере вікно, нам ця інформація більше не потрібна, тому, якщо в черзі є ще якісь запити, нам потрібно її скасувати, тому що всі запити в черзі будуть виконані, і користувач буде чекати даних для вже вибраного пристрою.

Життєвий цикл роботи додатка на старті, а такої взаємодія акторів (дійових осіб) в рамках певного прецеденту (відправка запитів і отримання відповідей) показан на єдиній тимчасовій осі – UML діаграмі послідовності (рисунок 3.19).

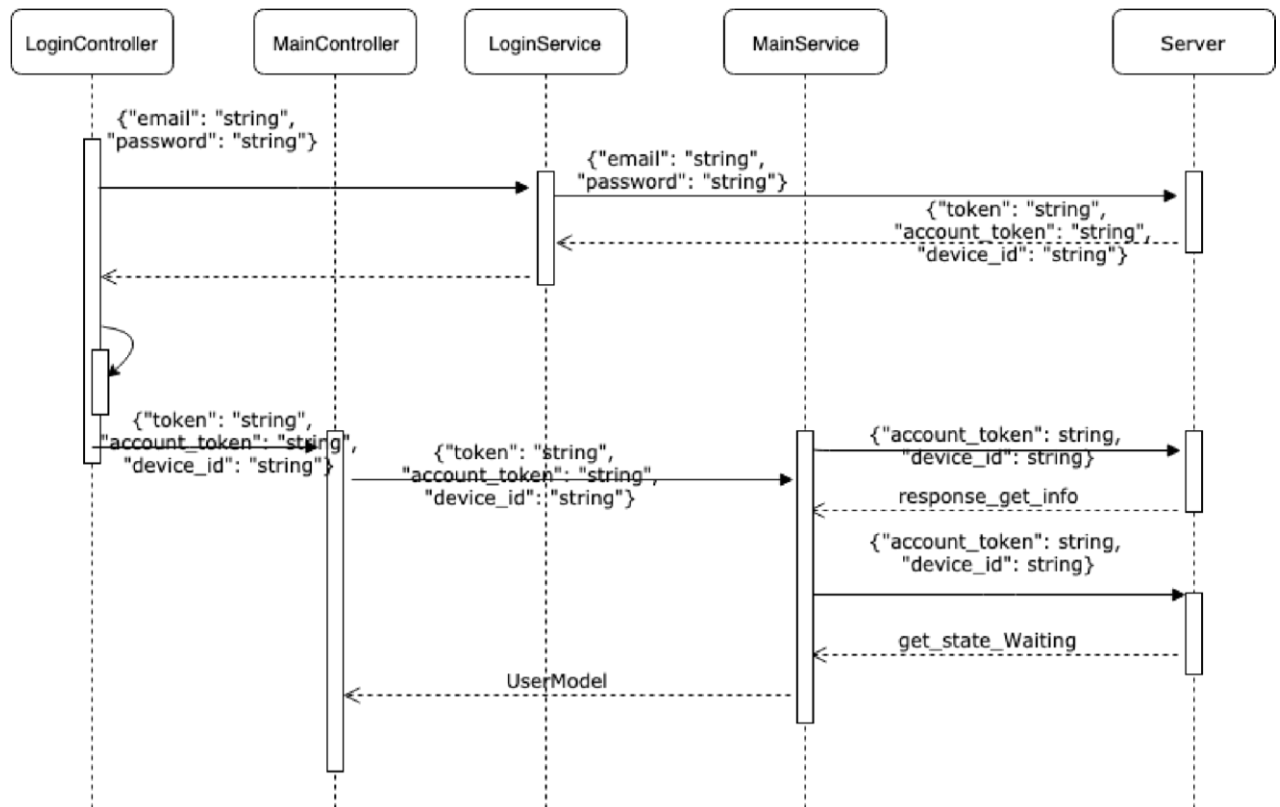


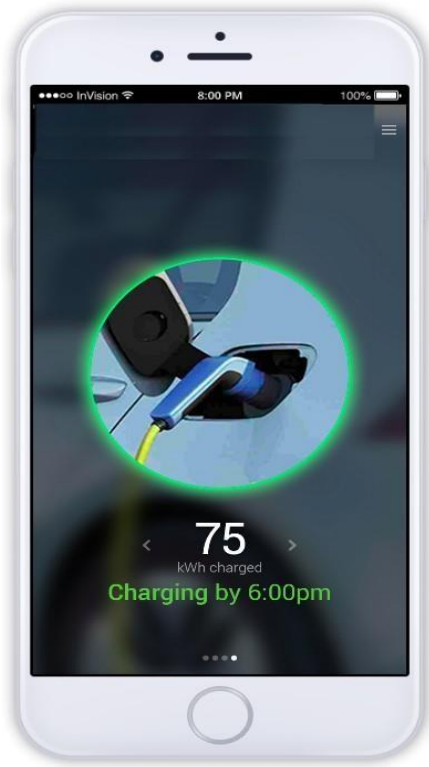
Рисунок 3.19 – UML діаграмі послідовності для старту додатка

Після успішного входу, з'явиться сторінка перезавантаження додатку (сторінка зі spinner) з текстом “We are setting up your profile and connecting” поки запити не будуть успішними і прийде інформація з сервера.

Основна сторінка має показувати усі пристрої та їх зарядний статус ("state"): "charging", "plugged", "unplugged", "disconnect" (рис. 3.20).

Встановити та запустити зарядку можливо за допомогою POST запиту /schedule (рисунок 3.21 б), та подивитись вже встановлені за допомогою GET запиту /schedule (рисунок 3.21 а).



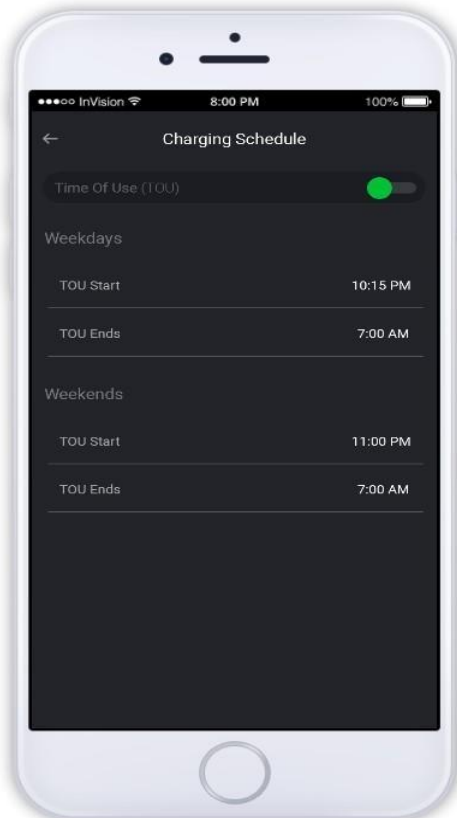


(a)

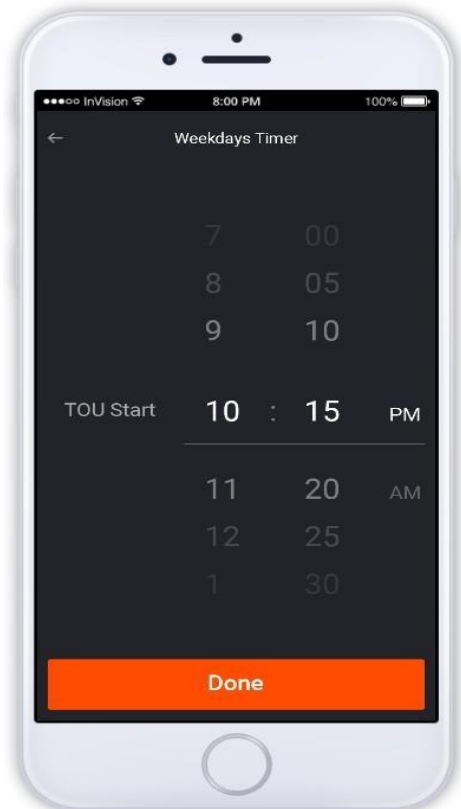


(б)

Рисунок 3.20 – Сторінка зі статусами зарядки (а) "charging", (б) "plugged"



(a)



(б)

Рисунок 3.21 – Сторінка (а) з розкладом зарядки, (б) та його встановленням. Щоб одержати інформацію щодо виробництва та споживання електроенергії та її вартість, та подивитись графік – використовується GET запит `/daily_electricity_production_and_consumption`. Інформацію можна одержати від енергетичної компанії з функціями оперативного-технологічного управління Об'єднаною енергосистемою України (ОЕС) та передачі електроенергії магістральними електричними мережами від генерації до регіональних електричних мереж енергопостачальних компаній (обленерго). Для цього запита потрібно у тлі передати такі дані: "action", "report\_date", "type\_for\_report", "rnd". На виході отримуємо масив з об'єктів, з даними за допомогою яких можна побудувати графіки.

Також система передбачає збереження історії усіх зарядок (рис. 3.22), яку можна отримати за допомогою GET запиту `/get_history`. Сторінка історія показує список усіх зарядок з датами, часом та довжиною зарядки та тим рівнем на який машину зарядили. Можна подивитись статистику зарядок, як часто заряджалась, у які часи, і який заряд був до зарядки та наприкінці.

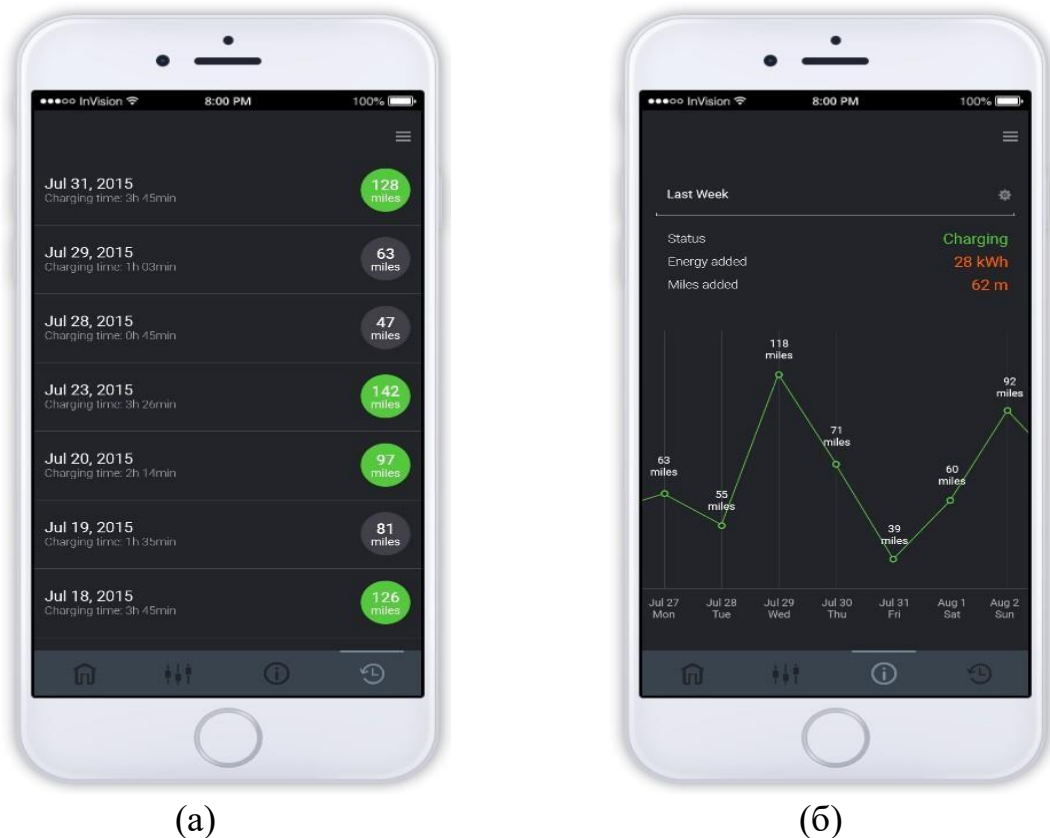


Рисунок 3.22 – Сторінка (а) історії зарядок, (б) та його графік

#### 4 МОДЕЛЮВАННЯ ТА СИМУЛЮВАННЯ СИСТЕМИ

Контролер керує моделюванням, спілкуючись з іншими класами, такими як Schedule, Charge Station та Environment, які реалізовані в Python. Контролер також спілкується з класом та базою даних, де зберігається вся інформація щодо потужності яка виділяється компаніями постачальниками енергії. Моделювання працює в дискретних часових кроках – одну хвилину. Кожну хвилину Python надсилає активні встановлені потужності. Якщо в класі Розклад – немає графіку зарядки, контролер заряджає електротранспортний засіб на вимогу користувача, як тільки вони прибудуть до станції (місця) зарядки. Плата за електроенергію буде стягуватись лише за часовий інтервал, визначений у графіку. Таким чином програма може бути використана для перевірки будь-якого типу алгоритмів планування. На рисунку 4.1 показана структура програми з відповідними класами.

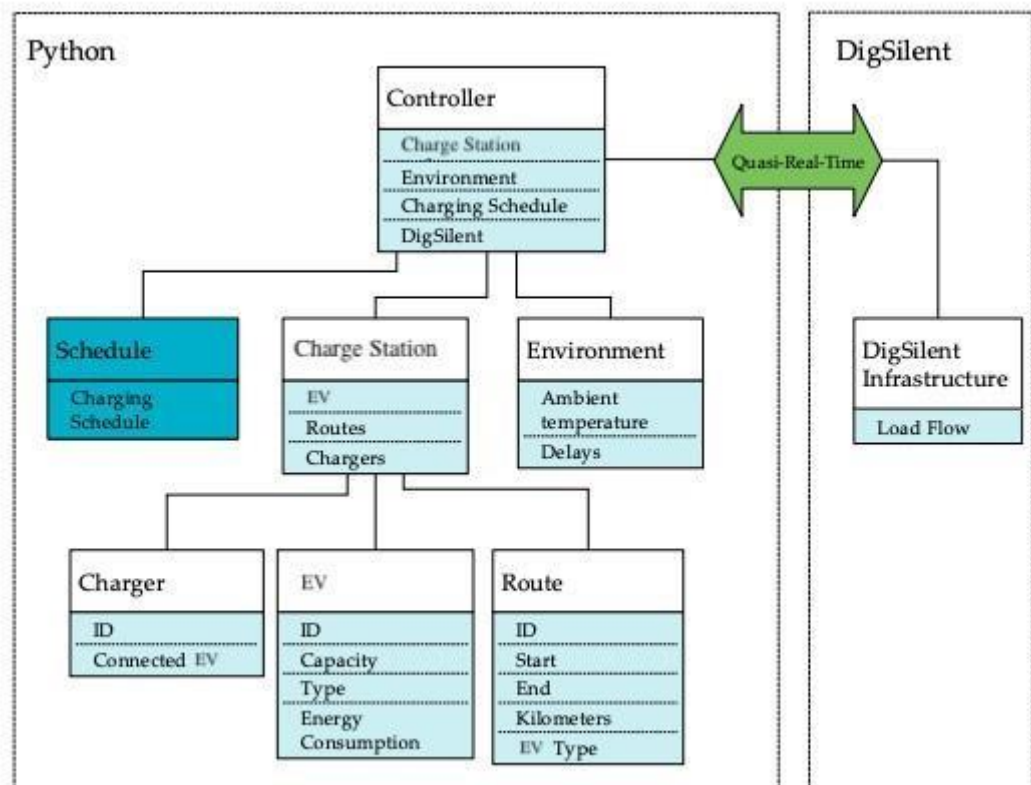
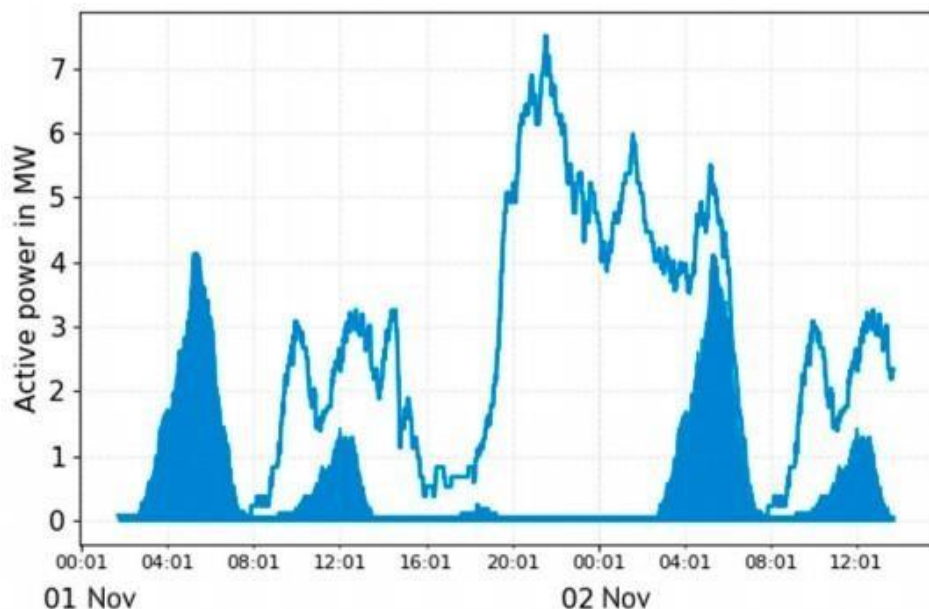


Рисунок 4.1 – Схема процесу моделювання з Python та Power Factory  
 Два алгоритми, описані в розділі 3, були використані для створення графіків зарядки для симулятора зарядної станції. Графіки були створені на п'ять робочих днів, але був змодельований лише 36 годин. Це відбувається тому, що різниці між профілями навантаження в різні робочі дні немає. Алгоритми спостерігалися в двох окремих сценаріях. Додатковий третій сценарій без графіку зарядки також не спостерігався. Цей сценарій далі буде називатися "оригінальним графіком". На рисунку 4.2 показаний загальний профіль навантаження в точці з'єднання з використанням початкового графіка. Темно-синя область показує навантаження, що виникає лише від попередньої підготовки. У цьому випадку машини починають заряджатися на вимогу, як тільки вони прибувають до зарядної електростанції. Це призводить до високого навантаження приблизно о 21:00 вечора. Пікове навантаження в цьому випадку становить 7,5 МВт. Пік попередньої кондиціонування припадає приблизно на 05:00 ранку, до 4,1 МВт. Навантаження для попередньої підготовки не можна перенести, і воно вважається основним навантаженням.



Рисунку 4.2 – Профіль завантаження, що виникає за початковим графіком зарядки, разом із завантаженням, що попередньо кондиціонується

На рисунку 4.3 показані профілі навантаження, отримані в результаті графіків, створених за жадібним і евристичним алгоритмом, порівняно з вихідним графіком. Жадібний алгоритм призводить до піку навантаження в 5,67 МВт, що відповідає максимуму зарядки 37 машин одночасно. Евристичний графік призводить до максимального навантаження 5,47 МВт, що відповідає 35 машин, що заряджаються за той же час. Порівняно з оригінальним графіком, пік навантаження в результаті жадібного алгоритму на 24,4% менший, а пік навантаження від евристичного алгоритму - 27,1%. Евристичний графік також показує відхилення від початкового розкладу в ранкові години, між 9:00 та 12:00. Жадібний алгоритм не відкладав жодних завдань зарядки в цей період і не показує відхилення від оригіналу.

Профіль навантаження з евристичного алгоритму показує більш малі коливання амплітуди протягом ночі, але він, як правило, краще розподілений. Жадібний графік призвів до профілю навантаження, яка була ближчою до постійної в часовому періоді з 20:00 до 23:00, але потім показала значне зниження навантаження приблизно о 04:00.

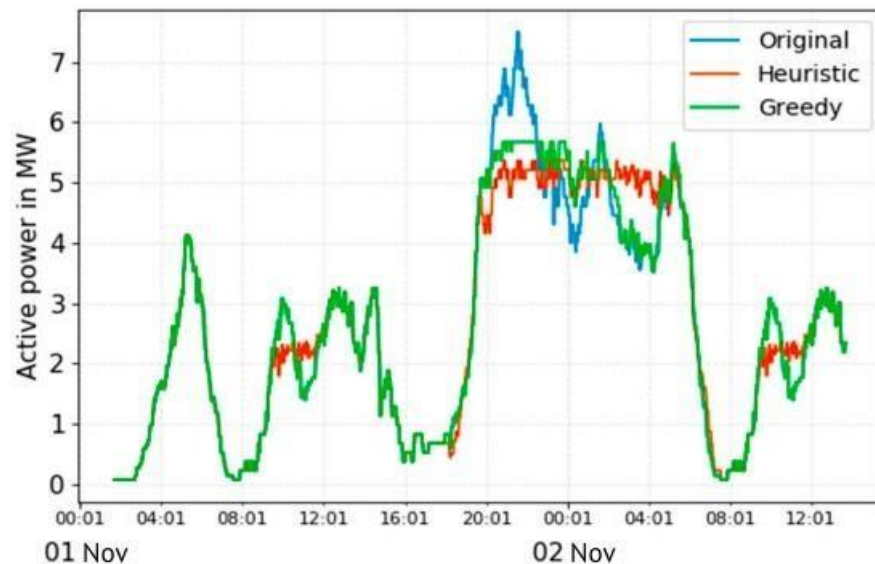


Рисунок 4.3 – Завантажені профілі, що впливають із оригінального, жадібного та евристичного розкладу

Різниця в розподілі навантаження між трьома порівняними сценаріями показана на рисунку 4.4. Жадібний алгоритм мінімізував піковий попит, але в області нижчого навантаження він не показує жодної відмінності від початкового розкладу. Евристичний алгоритм натомість зумів не тільки знизити піковий попит, але і згладити середнє навантаження. Уплощення відбулося два рази, один раз у діапазоні від 5,0 до 5,47 МВт, і ще раз у діапазоні від 2,0 до 2,3 МВт.

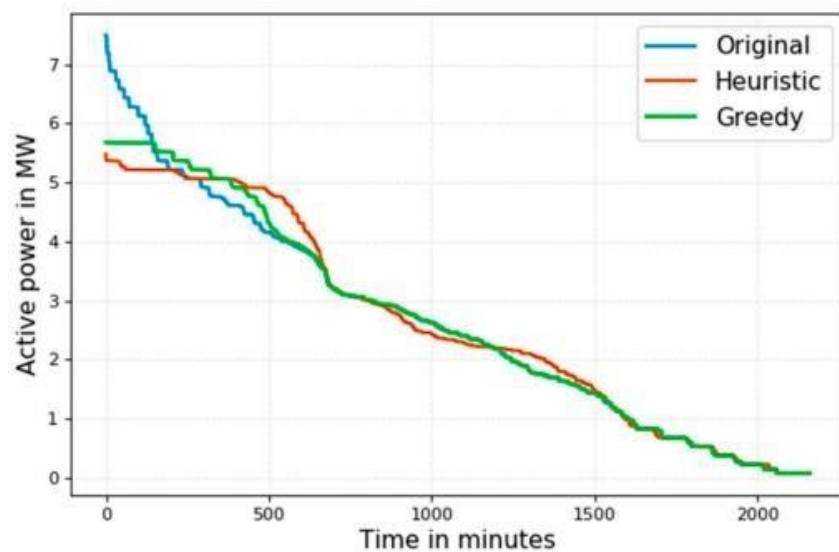


Рисунок 4.4 – Розподіл навантаження з трьох порівняних алгоритмів протягом імітованого часу

Активні втрати потужності в трансформаторах та кабелях у машинах на зарядній станції за трьома порівняними алгоритмами наведені на рисунку 4.5. Первісний графік призвів до втрат енергії 2634 кВт / год за аналізований період 36 год. Жадібний графік призводить до втрат енергії в 2636 кВт · год, а евристичний алгоритм - до 2611 кВт · г. Хоча жадібний графік показує менший пік навантаження порівняно з оригіналом, це призвело до дещо більших втрат енергії із збільшенням на 2 кВт / год. З іншого боку, евристичний алгоритм показує менший пік навантаження та менші втрати енергії. Порівняно з оригінальним графіком, це зменшило втрати енергії на 23 кВт / год.

Підготовка в зимові місяці призводить до високого піку навантаження. Однак у літні місяці, коли немає (або менше) передумов (не використовується обігрів автотранспортного засобу), пікове навантаження можна ще зменшити.

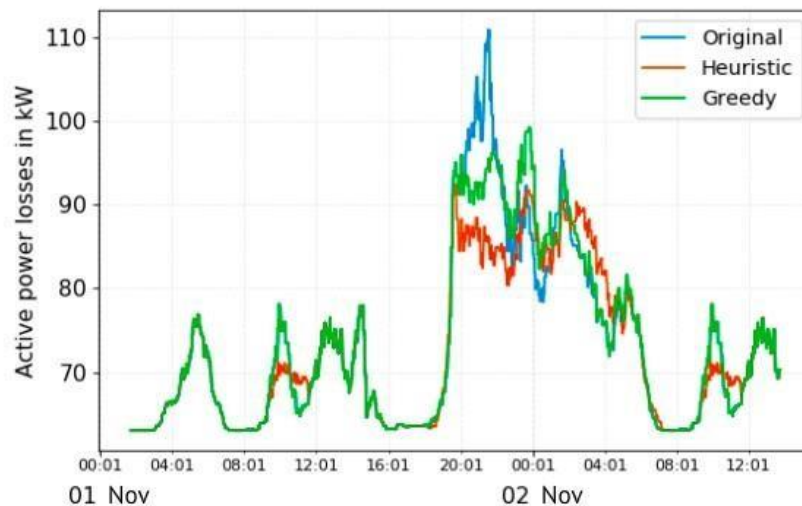


Рисунок 4.5 – Втрати в трансформаторах та кабелях, що виникають внаслідок початкового, жадібного та евристичного розкладу

На рисунку 4.6 показаний профіль навантаження за початковим, евристичним та жадібним графіком роботи в літні місяці, якщо припускати, що немає попередньої кондиціонування, а температура навколишнього середовища становить  $28^{\circ}\text{C}$ . Споживання енергії машин у літні місяці менше. Тому профіль навантаження, отриманий за початковим графіком, також менший, ніж узимку, і призводить до піку навантаження в 5,7 МВт. Жадібний алгоритм призводить до піку навантаження в 3,55 МВт, що відповідає 23 машинам зарядки за той же час. З іншого боку, евристичний алгоритм демонструє кращі результати і призводить до піку навантаження в 3,27 МВт і заряджання 21 машин одночасно. Порівняно з оригінальним графіком у цьому сценарії, жадібному алгоритму вдалося зменшити пік навантаження на 37,7%, а евристичний алгоритм - на 42,6%.

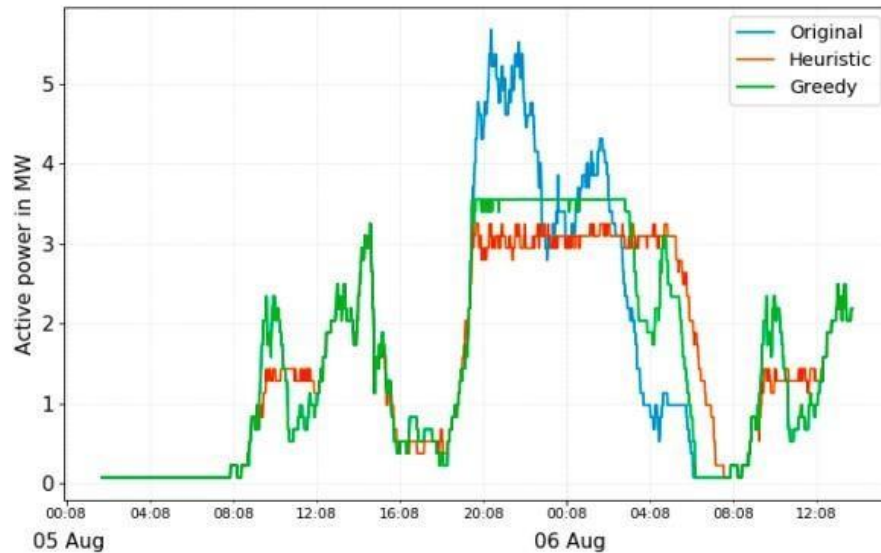


Рисунок 4.6 – Профіль завантаження, що впливає з оригінального, евристичного та жадібного графіка на літні місяці, без попередньої підготовки та температури навколишнього середовища 28 ° C

## ВИСНОВКИ

Через надзвичайний розвиток електротранспортного засобу у багатьох країнах світу і збільшенням використання зарядних станцій для електромобіля, заряд електромобіля впливає на планування і експлуатацію житлової розподільної системи.

У дипломній роботі були розглянуті існуючі проблеми пов'язані з оптимізацією електроспоживання, економічні та юридичні підґрунтя системи електропостачання та електроспоживання в Україні (порівняння зі світовими системами та їх показниками – наведені статистичні дані), методи та варіанти рішень, які перешкоджатимуть збільшенню вироблення електричної енергії енергопідприємствами. У роботі описується предметна галузь, а саме: структура енергосистеми України, існуюча проблематика видобування та споживання енергії, прогнози її розвитку, світові тенденції у економіці, енергетиці та розвитку електричних транспортних засобів, енергозаощадження. Після вивчення предметної галузі було запропоновано метод (програмно-апаратний комплекс) зменшення навантаження на ОЕС



України, як слідство – збереження коштів держави на додаткове обслуговування та збереження екології планети, та зменшення витрат на електроенергію для користувачів електромереж. Для проектування системи оптимізації електроспоживання було обрано стек технологій, який оптимально підходить за первинними параметрами: ціна, якість, відповідність технічним запитам.

У цій роботі проаналізовано проблему планування зарядки на великомасштабних зарядних станції електротранспортних засобів та запропоновано два алгоритми мінімізації пікових навантажень. Для моделювання були використані дані наближені до реальних, базуючись на інформації з відкритих джерел. Запропоновані алгоритми змогли знизити піковий попит та згладити пікове навантаження на електрозаправці, а значить може знизити в Україні скрізь. Жадібний графік призвів до дещо більшого пікового попиту, але рівномірно розподіленого навантаження протягом дуже високих періодів навантаження. Це вдалося знизити пік навантаження на 24,4% порівняно з вихідним профілем навантаження. Тим не менш, не вдалося зменшити накопичувальні втрати енергії в сумі. За аналізований період 36 годин це призвело до додаткових втрат на 2 кВт / год порівняно з початковим профілем навантаження. Евристичний графік в цьому випадку досяг ще меншого пікового навантаження і зменшив його на 27,1% порівняно з вихідним піком навантаження. Це також зменшило втрати енергії на 23 кВт/год. Евристичним алгоритмом вдалося краще розподілити середнє навантаження як вночі, так і протягом дня, в час з 09:00 до 12:00. Однак це призвело до профілю навантаження з меншими коливаннями амплітуди порівняно з жадібними. Для літнього сценарію всі алгоритми показали менші піки навантаження. Це пояснюється меншим попитом на попередню підготовку (користуванням обігрівом елетротранспорту) в порівнянні з зимовими місяцями. Жадібний графік зумів знизити пікове навантаження на 37,7% порівняно з початковим профілем навантаження. З іншого боку, евристичний графік зменшив пік навантаження на 42,6%. У цьому випадку

жадібний алгоритм призвів до відносно рівного профілю навантаження в часі з 20:00 до 02:00. У той же час, евристичний профіль навантаження вкотре показав багато малих змін амплітудної навантаження. Для цілей цього документу процес зарядки розглядався як непередбачувана робота. Це означає, що як тільки машина почала заряджатися, зарядка продовжується, поки не досягне своєї мети SoC. Процес також може спостерігатися у вигідній формі, дозволяючи машині кілька разів заряджатись у межах доступного інтервалу зарядки. Додатковою цікавою змінною, яка могла бути включена в алгоритми планування, є прогноз навантаження від оператора сітки. Профіль навантаження на електрозаправці в такому випадку підтримує загальний профіль навантаження в електромережі. Такі сценарії, включаючи планування в Інтернеті, є темою нашого майбутнього дослідження.

У багатьох регіонах відновлювальна енергія більш доступна в певний час дня, а енергія з природного газу або вугілля більш доступна в інший час (і цю інформацію надають енергетичні компанії з функціями оперативнотехнологічного управління Об'єднаною енергосистемою України (ОЕС) та передачі електроенергії магістральними електромережами від генерації до регіональних електромереж енергопостачальних компаній). Пропонована система гарантує, що користувач може заряджатися з найчистішою доступною енергією, з огляду на ваші потреби в зарядці. Інтерфейс клієнтського додатка дозволяє відстежувати інформацію щодо виробництва та споживання електроенергії, її вартості за допомогою графіків та базуючись на цій інформації – складати розклад зарядки. Запропоновані алгоритми, знижують пікові навантаження мережі та оптимізують розподілення ресурсів EVSE для вимог мережі і водіїв. Кожна зарядна станція може бути встановлена з командами тарифікації заряду (обмеженої та необхідної кількості ресурсів), заснованими на профілях відповідної локальної мережі. Збір і зберігання даних телеметрії часових рядів EVSE EV. Водії можуть контролювати зарядну станцію в залежності від своїх уподобань в зарядці, графіка використання і часу зарядки в режимі реального часу та мати

найвищий пріоритет управління мережею в будь-який час. Також у користувачів є доступ до історії зарядних станцій, оповіщень і повідомлень.

Програмне забезпечення передбачає при високому навантаженні зміщення часу зарядки щодо підключених зарядних пристрій EV, для зниження рівня навантаження. Програмне забезпечення лише у незначній мірі скорочує витрати (фінансів та електроенергії) на зарядку для кожного окремого електромобіля протягом короткого проміжку часу, але в сукупності цього достатньо, щоб вплинути на мережу.

Систему можливо розвивати у таких напрямках:

- балансування попиту на енергосистему фінансового, прогнозного моделювання подій, заснованої на поведінці водія EV і ємності ринку електроенергії;
- передбачення необхідності у зарядці завчасно (особливо це потрібно під час подорожі на великі відстані);
- рекомендації для комерційних компаній, щодо встановлення додаткових зарядних станцій у місцях з найбільшими потребами у зарядці (куди не можуть доїхати електромобілі через брак енергії). А також це може бути корисним для комерційних компаній, які зацікавлені в продажі електрокарів, та щоб користувачі зрозуміли чи потрібен їм зарядний пристрій на роботі або в інших місцях;
- також цей програмно-апаратний комплекс може бути розширений та застосований до усіх приладів, як у побуті так і на виробництві.

## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Горяев А. Б., Данилов О. Л. та ін. Энергозбереження в енергетиці та технологіях: Енергозбереження в низькотемпературних процесах і технологіях. - М.: Видавництво МЭИ, 2002.

2. Електронна бібліотека [електронний ресурс]: Всесвітня кількість акумуляторних електричних транспортних засобів, що використовуються з 2012 по 2017 рік (у тисячах). Режим доступу до ресурсу.:

<https://www.statista.com/statistics/270603/worldwide-number-of-hybridandelectric-vehicles-since-2009/>

3. Friansa, Koko, Irsyad Nashirul Haq, Bening Maria Santi, Deddy Kurniadi, Edi Leksono, and Brian Yuliarto. "Development of Battery Monitoring System in Smart Microgrid Based on Internet of Things (IoT)." Procedia engineering 170 (2017): 482-487.

4. Prabhdeep Singh Rayat, Technicity Project Report, "Defining Electric Vehicle Charging Infrastructure for smart cities using IoT. Page Defining Electric Vehicle Charging Infrastructure for Smart Cities using IOT and Smart Sensors Technicity", 2015.

5. Khajenasiri, Iman, Abouzar Estebarsari, Marian Verhelst, and Georges Gielen. "A review on Internet of Things solutions for intelligent energy control in building

6. Asif Faiz; Christopher S. Weaver; Michael P. Walsh (1996). Air Pollution from Motor Vehicles: Standards and Technologies for Controlling Emissions. World Bank Publications. p. 227. ISBN 978-0-8213-3444-7.

7. Електронна бібліотека [електронний ресурс]: "EU policy-makers seek to make electric transport a priority". Reuters. 2015-02-03. Режим доступу до ресурсу.: <https://www.reuters.com/article/us-eu-transportation-electriccarsidUSKBN0L71I720150203>

8. [Електронний ресурс]: Zap-Map. Режим доступу до ресурсу.:

<https://www.zap-map.com/charge-points/connectors-speeds/>

9. [Електронний ресурс]: Ec.europa.eu. ["Transport: Electric vehicles -](#)

[European commission](#)". 2011-03-19. Режим доступа до ресурсу.:

[https://web.archive.org/web/20110319033116/http://ec.europa.eu/transport/urban/vehicles/road/electric\\_en.htm](https://web.archive.org/web/20110319033116/http://ec.europa.eu/transport/urban/vehicles/road/electric_en.htm)

10. [Электронний ресурс]: Chip Gribben. "[Debunking the Myth of EVs and Smokestacks](#)". Режим доступа до ресурсу.:

<https://www.electroauto.com/info/pollmyth.shtml>

11. Buekers, J; Van Holderbeke, M; Bierkens, J; Int Panis, L (2014). "[Health and environmental benefits related to electric vehicle introduction in EU countries](#)". Transportation Research Part D: Transport and Environment. 33: 26–38. doi:10.1016/j.trd.2014.09.002.

12. "[Seminar on EVs-ClimateChange](#)". Vimeo. Retrieved 2018-12-20.

13. [Электронний ресурс]: "[SAFA Tempos: Electric Vehicles to Save Pollution\(Electric Vehicle in Nepal\)](#)". Paranjaya Paudel. August 4, 2012. Режим доступа до ресурсу.: <http://www.paranjaya.com.np/2012/08/safa-temposelectricvehicles-to-save.html> Retrieved December 14, 2018.

14. [Электронний ресурс]: "[Electromobility could create over 200,000 net additional jobs by 2030 in Europe – study | Transport & Environment](#)". Режим доступа до ресурсу.: [www.transportenvironment.org..](http://www.transportenvironment.org..)

15. Aaron R. Holdway; Alexander R. Williams; Oliver R. Inderwildi; David A. King (2010). "Indirect emissions from electric vehicles: emissions from electricity generation". Energy & Environmental Science. 3 (12): 1825. doi:10.1039/C0EE00031K.

16. Nealer, Rachael; Reichmuth, David; Anair, Don (November 2015). "Cleaner Cars from Cradle to Grave: How Electric Cars Beat Gasoline Cars on Lifetime Global Warming Emissions"(PDF). Union of Concerned Scientists (UCS).

17. Sebastian Blanco (2015-11-17). "UCS: Well-to-wheel, EVs cleaner than pretty much all gas cars". Autoblog (website).

18. Lepetit, Yoann (October 2017). "Electric vehicle life cycle analysis and raw material availability" (PDF). Transport & Environment.

19. Tyner, Wally. "Electricity pricing policies may make or break plug-in hybrid buys". Purdue University.
20. Liasi, Sahand Ghaseminejad, and Masoud Aliakbar Golkar. "Electric vehicles connection to microgrid effects on peak demand with and without demand response." In Electrical Engineering (ICEE), 2017 Iranian Conference on, pp. 12721277. IEEE, 2017.
21. [Електронний ресурс]: "[First vehicle-to-grid demonstration](https://web.archive.org/web/20110523233412)". Режим доступу до ресурсу.: <https://web.archive.org/web/20110523233412>
22. Shafie-khah, Miadreza, et al. "[Optimal behavior of electric vehicle parking lots as demand response aggregation agents](#)." IEEE Transactions on Smart Grid 7.6 (2016): 2654-2665. doi: 10.1109/TSG.2015.2496796
23. [Електронний ресурс]: "[Engines and Gas Turbines | Claverton Group](http://www.claverton-energy.com/)". Режим доступу до ресурсу.: <http://www.claverton-energy.com/> 2008-11-18.
24. [National Grid's use of Emergency. Diesel Standby Generator's in dealing with grid intermittency and variability. Potential Contribution in assisting renewables Archived](#) February 17, 2010, at the [Wayback Machine](#)., David Andrews, Senior Technical Consultant, Biwater Energy, A talk originally given by as the Energy Manager at Wessex Water at an Open University Conference on Intermittency, 24th Jan 2006
25. [Електронний ресурс]: "[Electric vehicle price is rising, but cost-per-mile is falling](https://arstechnica.com/cars/)". Ars Technica. Режим доступу до ресурсу.: <https://arstechnica.com/cars/>, 2018-09-07
26. [Електронний ресурс]: "[Twitter poll results: More electric cars get charged at work than at public chargers](https://www.greencarreports.com/)". Green Car Reports. Режим доступу до ресурсу.: <https://www.greencarreports.com/>, 2018-06-08.
27. [Електронний ресурс]: Укренерго – національна енергетична компанія Режим доступу до ресурсу.: <https://ua.energy/diyalnist/dyspetcherskainformatsiya/roboata-oes-ukrayiny-za-tyzhden/>
28. Chlebišová, E., Kyzeková, J., Svobodová, H.: Marketing Study of the

Electric Vehicles' Diffusion. In 11th International Scientific Conference on Electric Power Engineering 2010, Brno, Czech republic, pp. 807-811, 2010, ISBN 97880214-4094-4.

29. Barešová, H.: Vliv nabíjecích stanic elektromobilů na elektrickou síť. DP VŠB-TU Ostrava. Ostrava, 2011.

30. [Електронний ресурс]: HEVCars – портал, посвященный рынку экологически чистых автомобилей в Украине. Режим доступа до ресурсу.:

<https://hevcars.com.ua/electric-car-guide/>

31. [Електронний ресурс]: Rychlonabíjecí stanice pro elektromobily. Режим доступа до ресурсу.: <http://www.hybrid.cz/clanky/rychlonabijeci-staniceproelektromobily>

32. [Електронний ресурс]: Укренерго – національна енергетична компанія Режим доступа до ресурсу.: <https://ua.energy/diyalnist/dyspetcherskainformatsiya/dobovuj-grafik-vyrobnytstva-spozhyvannya-e-e/>

33. [Електронний ресурс]: Національна комісія, яка здійснює державне регулювання у сфері енергетики і комунальних послуг. Режим доступа до ресурсу.: <http://www.nerc.gov.ua/>

34. [Електронний ресурс]: Maanimo – финансово-экономический портал Режим доступа до ресурсу.: <https://maanimo.com/indexes/140163-novyetarifyna-elektroenergiyu-v-ukraine>

35. Tan, Yee Shee, Yen Ting Ng, and Jonathan Sze Choong Low. "Internetofthings enabled real-time monitoring of energy efficiency on manufacturing shop floors." *Procedia CIRP* 61 (2017): 376-381.

36. Kim, Ho-Sung, Myung-Hyo Ryu, Ju-Won Baek, and Jee-Hoon Jung. "Highefficiency isolated bidirectional ACDC converter for a DC distribution system." *IEEE Transactions on Power Electronics* 28, no. 4 (2013): 1642-1654.

37. Suresh, Harishankar, Anand Baskaran, K. P. Sudharsan, U. Vignesh, T. Viveknath, P. Sivraj, and K. Vijith. "Efficient charging of battery and production of power from solar energy." In *Embedded Systems (ICES), 2014 International Conference on*, pp. 231-237. IEEE, 2014.

38. Prabhakar, Bhavya M., J. Ramprabhakar, and V. Sailaja. "Estimation and controlling the state of charge in battery augmented photovoltaic system." In *Power and Energy Systems: Towards Sustainable Energy (PESTSE), 2016 Biennial International Conference on*, pp. 1-6. IEEE, 2016.
39. Li, Wen, and Sami Kara. "Methodology for Monitoring Manufacturing Environment by Using Wireless Sensor Networks (WSN) and the Internet of Things (IoT)." *Procedia CIRP* 61 (2017): 323-328.
40. [Электронный ресурс]: Espressif Systems (August 01, 2016). [ESP8266 Low Power Solutions](http://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/ESP8266_Low_Power_Solutions). Espressif. Режим доступа до ресурсу.: <http://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/>
41. [Электронный ресурс]: Espressif Systems (July 29, 2015). [Official SDK release from Espressif for ESP8266](http://bbs.espressif.com/viewforum.php?f=46/). Режим доступа до ресурсу.: <http://bbs.espressif.com/viewforum.php?f=46/>
42. [Электронный ресурс]: [The NIST Definition of Cloud Computing](http://csrc.nist.gov/publications/nistpubs/800145/SP800-145.pdf) Режим доступа до ресурсу.: <http://csrc.nist.gov/publications/nistpubs/800145/SP800-145.pdf>
43. Gens, Frank (2009-10-05). [IDC's New IT Cloud Services Forecast: 20092013](http://www.idc.com/analysis/cloud-services-forecast-2009-2013). IDC.
44. Li, Siguang, and Chengning Zhang. "Study on battery management system and lithium-ion battery." In *Computer and Automation Engineering, 2009. ICCAE'09. International Conference on*, pp. 218-222. IEEE, 2009.
45. Cheng, Ka Wai Eric, B. P. Divakar, Hongjie Wu, Kai Ding, and Ho Fai Ho. "Battery-management system (BMS) and SOC development for electrical vehicles." *IEEE transactions on vehicular technology* 60, no. 1 (2011): 76-88.
46. "Guide to buy the right EV home charging station". US: Home Charging Stations. 2018-01-03. Retrieved 2018-09-01.