



ЦЕНТРАЛЬНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ
ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ФАКУЛЬТЕТ БУДІВНИЦТВА, ТРАНСПОРТУ ТА
ЕНЕРГЕТИКИ



КАФЕДРА «ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ МАШИН»

КВАЛІФІКАЦІЙНА МАГІСТЕРСЬКА РОБОТА

на тему:

**«Підвищення ефективності експлуатації та сервісного обслуговування
автомобілів із гібридними силовими установками у ПП «Авто-Шанс Центр»
м. Кропивницький»**

Виконав:

магістрант групи АТ23М-1 спеціальності 274
«Автомобільний транспорт» ОПІ
«Автомобільний транспорт»

_____ Олександр ШИЛО

Керівник:

к.т.н., доцент _____ Сергій МАГОПЕЦЬ

«ДОПУСТИТИ ДО ЗАХИСТУ»

Завідувач кафедри:

к.т.н., доцент _____ Сергій МАГОПЕЦЬ

«__» _____ 2024 р.

Рецензент:

_____, _____
(наук. ст., вч. звання) (підпис) (ім'я та прізвище)

«__» _____ 2024 р.

Кропивницький – 2024 р.

ЦЕНТРАЛЬНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ФАКУЛЬТЕТ БУДІВНИЦТВА, ТРАНСПОРТУ ТА ЕНЕРГЕТИКИ
КАФЕДРА «ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ МАШИН»

Рівень вищої освіти: другий (магістерський) рівень вищої освіти

Галузь знань: 27 «Транспорт»

Спеціальність: 274 «Автомобільний транспорт»

Освітньо-професійна програма: «Автомобільний транспорт»

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Завідувач кафедри «Експлуатація та
ремонт машин»

_____ Сергій МАГОПЕЦЬ
«__» _____ 2024 р.

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ МАГІСТЕРСЬКУ РОБОТУ

Шило Олександр Олександровичу

(прізвище, ім'я, по батькові здобувача)

1. Тема роботи «Підвищення ефективності експлуатації та сервісного обслуговування автомобілів із гібридними силовими установками у ПП «Авто-Шанс Центр» м. Кропивницький»

керівник роботи МАГОПЕЦЬ Сергій Олександрович, к.т.н, доцент

(прізвище, ім'я, по батькові)

(науковий ступінь) (вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від «__» _____ 2024 року № _____

2. Строк подання здобувачем роботи «15» грудня 2024 р.

3. Вихідні дані до роботи: Матеріали переддипломної практики

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

4.1. Розділ 1. Дослідити особливості організації та ефективність діяльності автосервісного підприємства ПП «Авто-Шанс Центр»; визначити пріоритетні напрямки його виробничої діяльності; обґрунтувати тему роботи, визначити її мету, об'єкт та предмет досліджень, задачі потрібні для подальшого вирішення.

4.2. Розділ 2. Навести класифікацію легкових автомобілів із гібридними силовими установками; проаналізувати переваги та недоліки гібридних силових установок; виконати оцінку поточного стану й динаміки розвитку парку автомобілів із гібридними силовими установками в Україні.

4.3. Розділ 3. Визначити основні фактори, що визначають на ефективність експлуатації гібридних автомобілів й провести аналіз показників їх паливної економічності у міських експлуатаційних умовах.

4.4 Розділ 4. Виконати оцінку показників надійності гібридних автомобілів й описати особливості організації їх сервісу.

5. Перелік ілюстративного матеріалу:

5.1. Результати аналізу виробничих особливостей й ефективності функціонування ПП «Авто-Шанс Центр». 5.2. Об'єкт, предмет, мета й задачі досліджень. 5.3. Класифікація АТЗ категорії М1 оснащених гібридними силовими установками. 5.4. Переваги та недоліки гібридних силових установок автомобілів. 5.5. Результати аналізу поточного стану та динаміки зміни ринку АТЗ категорії М1 із гібридними силовими установками в Україні. 5.6. Основні фактори, що визначають ефективність експлуатації АТЗ із гібридними силовими установками. 5.7. Оцінка рівня паливної економічності АТЗ із гібридними силовими установками у міських експлуатаційних режимах. 5.8. Загальні висновки.

ГРАФІК ВИКОНАННЯ ЕТАПІВ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної магістерської роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Розділ 1.		
2	Розділ 2.		
3	Розділ 3.		
4	Розділ 4.		
5	Загальні висновки		
6	Оформлення структурних елементів МР		
7	Ілюстративний матеріал до МР		

Магістрант

_____ (підпис)

ШИЛО О.О.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

_____ (підпис)

МАГОПЕЦЬ С.О.

(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Метою дослідження було проведення досліджень спрямованих на оцінку ефективності експлуатації АТЗ із гібридними силовими установками (ГСУ) у змінних експлуатаційних умовах при забезпеченні мінімізації витрат на енергоносії.

В першому розділі роботи «Вибір актуального напрямку досліджень» визначені особливості організації та виробничої діяльності автосервісного підприємства «Авто-Шанс Центр»; виконаний порівняльний «SWOT-аналіз»; визначені актуальні напрямки досліджень, встановлена їх мета, визначені об'єкт й предмет, сформульовані задачі, які потребують подальшого вирішення.

При цьому, об'єктом дослідження виступає процес процес забезпечення ефективності експлуатації АТЗ із ГСУ, а предметом - вплив експлуатаційних режимів на витрати енергоносіїв АТЗ із ГСУ, що використовують технологію «Plug-In») в режимі руху від силових акумуляторних батарей (САБ).

Основними задачами, які необхідно вирішити визнано:

- створення класифікації існуючих типів АТЗ із ГСУ та дослідження особливостей формування сегменту ринку цих автомобілів в Україні;
- удосконалення методики та виконання оцінки витрат різних видів енергії (палива та електроенергії) АТЗ із ГСУ в різних режимах експлуатації: «ДВЗ+електромотор», «лише ДВЗ», «лише електромотор»;
- виконання досліджень з оцінки максимальної дальності пробігу АТЗ із ГСУ при зміні рівня його завантаженості, параметрів природнокліматичних умов та енергоемності САБ;
- дослідження особливостей сервісного обслуговування АТЗ із ГСУ.

В другому розділі «Аналіз особливостей формування парку АТЗ із ГСУ» наведена класифікація легкових АТЗ із ГСУ; визначені переваги й недоліки ГСУ АТЗ й виконаний аналіз поточного стану та динаміки зміни ринку легкових АТЗ із гібридними силовими установками в Україні.

В третьому розділі «Дослідження ефективності використання АТЗ із ГСУ в експлуатаційних умовах» визначені основні фактори, що визначають ефективність експлуатації АТЗ із ГСУ й виконана оцінка рівня їх паливної економічності у міських експлуатаційних режимах.

В четвертому розділі «Забезпечення експлуатаційної надійності АТЗ із ГСУ» виконана оцінка показників надійності АТЗ із ГСУ й досліджені особливості організації їх сервісу.

Кваліфікаційна робота складається із пояснювальної записки обсягом 78 сторінок із 30 рисунками та 9 таблицями, яка містить завдання, реферат, зміст, вступ, 4 основні розділи, загальні висновки, перелік використаних джерел й 1 додаток та 8 слайдів ілюстративного матеріалу загальним обсягом 15 сторінок.

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

АЗС – автозаправна станція

АКБ – акумуляторна батарея

АТЗ – автотранспортний засіб

ДВЗ – двигун внутрішнього згорання

ГСУ – гібридна силова установка

ЕСУ – електричні силові установки

ІК – інструментальний контроль

ККД – коефіцієнт корисної дії

КП – коробка передач

КШМ – кривошипно-шатунний механізм

РА – ремонт автомобілів

САБ – силова акумуляторна батарея

ТО – технічне обслуговування

ВСТУП	
1. ВИБІР АКТУАЛЬНОГО НАПРЯМКУ ДОСЛІДЖЕНЬ	
1.1. Загальна характеристика виробничої діяльності ПП «Авто-Шанс Центр» м. Кропивницький	
1.2. Оцінка специфіки та ефективності здійснення виробничої діяльності автопідприємства	
1.3. Визначення актуальних напрямків досліджень	
2. АНАЛІЗ ОСОБЛИВОСТЕЙ ФОРМУВАННЯ ПАРКУ АТЗ ІЗ ГСУ	
2.1. Класифікація АТЗ категорії М1 оснащених гібридними силовими установками (ГСУ)	
2.2. Переваги та недоліки гібридних силових установок АТЗ	
2.3. Аналіз поточного стану та динаміки зміни ринку АТЗ категорії М1 із гібридними силовими установками в Україні	
3. ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ АТЗ ІЗ ГСУ В ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ УМОВАХ	
3.1. Визначення основних факторів, що визначають ефективність експлуатації АТЗ із ГСУ	
3.2. Оцінка рівня паливної економічності АТЗ із ГСУ у міських експлуатаційних режимах	
4. ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНОЇ НАДІЙНОСТІ АТЗ ІЗ ГСУ	
4.1. Оцінка показників надійності АТЗ із ГСУ	
4.2. Особливості організації сервісу АТЗ із ГСУ	
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	

ВСТУП

Однією з найбільш актуальних проблем, яка намагається вирішити людство, є захист навколишнього середовища. Одним із значущих напрямків є зменшення викидів токсичних речовин із відпрацьованими газами автотранспортних засобів. Особливої ефективності й широкого впровадження набувають заходи які важливі як для виробників автомобілів так й економічно вигідні їх потенційним власникам. Все більше вибір споживачів щодо типу АТЗ та особливостей його двигуна здійснюється в тому числі з економічних міркувань, але в контексті придбання екологічної продукції й забезпечення захисту навколишнього середовища. Світова політика на поточний час спрямована на забезпечення економного споживання різних видів ресурсів, особливо природного походження, що у комплексі із прогресуючим зростанням цін на більшість видів палива забезпечує стійку тенденції щодо максимально можливого використання у побуті енергозберігаючих технологій.

Останні періоди виробництва автомобілів характеризуються появою нових категорій до яких в першу чергу можна віднести електромобілі й автомобілів із гібридними силовими установками (ГСУ). На поточний час фактично більшість провідних автовиробників мають власні серійні розробки гібридних моделей АТЗ. Історично же першими в цьому напрямку можна обґрунтовано вважати дві японські авто корпорації «Тойота» й «Хонда», які й на зараз залишаються світовими лідерами в сегменті автомобілів із ГСУ. Разом з тим, наявна значна кількість різних марок і моделей АТЗ із ГСУ цих та інших виробників визначає складність проведення раціонального вибору автомобіля із врахуванням майбутніх експлуатаційних умов.

Гібридним прийнято називати АТЗ, в якому силова установка складається з двох або більшої кількості різних типів двигунів, але присутність в ній ДВЗ вважається обов'язковою. При цьому кожен двигун забезпечує власну технологію перетворення енергії в механічну роботу. Так склалося, що на поточний час більшість гібридних моделей АТЗ налічують два двигуни – класичний ДВЗ, що працює на бензині або дизельному паливі й електричний. Але концептуально моделі гібридної установки автомобіля можуть бути різними. В одних передбачено спільне приведення ведучих коліс у рух, натомість як інші передають крутний момент на

кожен на окрему вісь, треті – реалізують зв'язок із колесами тільки одного типу двигуна, в той час як інший живить енергією перший.

Перші моделі «екологічних» автомобілів були спроектовані виключно для міських експлуатаційних умов й режимів руху. Це створювало певні перешкоди для поширення таких автомобілів. Більшість потенційних покупців й досі вважають, що гібриди краще проявляють свої властивості у міському їздовому циклі й не помиляються. Разом з тим, технічний прогрес у автомобілебудування постійно прогресує, а конструктори електричних двигунів постійно працюють над їх подальшим удосконаленням. Вже сьогодні, один із найбільш складних й відповідальних елементів – тягова або силова батарея, яка раніше була маломісткою, здатна зберігати потрібний рівень заряду набагато довше, ніж декілька років тому, а нові електромотори здатні розвивати надвисокі динамічні характеристики для різних режимів руху в тому числі й із високими швидкісними показниками.

Ставлення вітчизняного населення до гібридних автомобілів на зараз є неоднозначним. Одна частина власників АТЗ має позитивне сприйняття гібридних установок й активно цікавиться ними, як системам, які завдають мінімальної шкоди екології нашої планети. Інша же частина, користуючись застарілою інформацією, щодо експлуатаційних властивостей гібридних двигунів, не сприймає їх в якості двигунів власних транспортних засобів, при цьому не маючи ґрунтовних фактів, які б підтверджували справедливість власної позиції.

Гібридні автомобілі у своєму розвитку за останні декілька років зробили значний стрибок. Їх швидкісні й динамічні характеристики знаходяться у повній відповідності до сучасних умов використання як в межах міської забудови так й на заміських дорогах; а поєднання економічних характеристик гібридних силових установок дозволяє задовольнити вимоги більшості потенційних покупців АТЗ.

Разом із тим, для потенційних споживачів (власників гібридних автомобілів) залишається невідомою доволі суттєва ніша, яка охоплює експлуатаційні показники таких автомобілів, а саме: надійність, довговічність, складність і вартість технічного обслуговування тощо. Саме цим дослідженням й присвячена представлена магістерська робота.

Розділ 1

ВИБІР АКТУАЛЬНОГО НАПРЯМКУ ДОСЛІДЖЕНЬ

1.1. Загальна характеристика виробничої діяльності ПП «Авто-Шанс Центр» м. Кропивницький

Характеризуючи ПП «Авто-Шанс Центр» (м. Кропивницький) в першу чергу доцільно відмітити, що підприємство відноситься до галузі «Транспорт» й забезпечує реалізацію нових АТЗ категорії M_1 й їх подальшу сервісну підтримку [1].

Специфіка основного виробничого підприємства залишається незмінною вже протягом фактично 30 років й була початково визначена під час його заснування у 1996 р. під назвою «Автотрейдинг» - підприємства, яке на той час було дилерським представником в нашій країні корейського авто-консорціуму «KIA Motors Corp». Оснащення сучасним фірмовим сервісним обладнанням та висококваліфікований персонал, дуже швидко дозволили підприємству набути популярності в регіоні серед власників АТЗ, що зумовило його подальшу реструктуризацію, яка відбулася у 2003 р. Зміни стосувалися розширення сегменту виробничої діяльності підприємства, що визначалися отриманими довгостроковими дилерськими повноваженнями від компаній «FIAT Auto SpA» й «Skoda Auto a.s.» [2]. Були змінені й назва підприємства – воно стало називатися «Авто-Шанс» та його керівний склад – генеральним директором був призначений відомий працівник транспортної галузі С.П. Шандрук, який успішно керував підприємством 12 наступних років.

Свою останню назву «Авто-Шанс Центр» підприємство отримало у 2015 р. в зв'язку із зміною власника підприємства без зміни організаційної форми. Підприємство (рис. 1.1) очолила, й до сьогодні керує ним, Анна Сергіївна Максименко [1]. З того часу підприємство остаточно розширило й сформувало власну виробничу базу, яка зручно розміщена на Першій виставковій (Мурманській) вулиці, що є продовженням автодороги міжнародного сполучення М50 (рис. 1.2) [3]. На зараз, за рівнем значимості й якості надання послуг, підприємство є лідером як у м. Кропивницький так й у регіоні, забезпечуючи повний комплекс дилерських послуг з реалізації, технічного супроводу, сервісу й ремонту легкових АТЗ одразу чотирьох всесвітньо відомих автомобільних компаній, а саме: «Peugeot», «Citroen», «Skoda» і «Opel» [3].



Рисунок 1.1 – ПП «Авто-Шанс Центр» (м. Кропивницький)

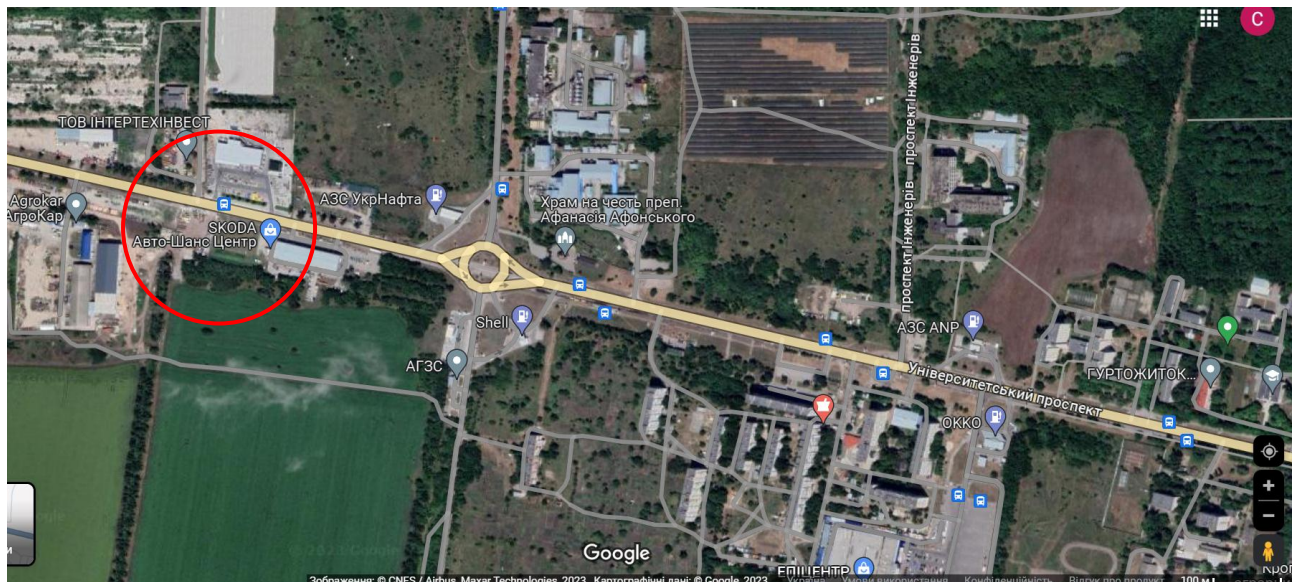


Рисунок 1.2 – Розміщення виробничих потужностей ПП «Авто-Шанс Центр»

У відповідності до статуту підприємства основним видом його виробничої діяльності за КВЕД є «45.20 «Технічне обслуговування та ремонт автотранспортних засобів» [1].

З метою розширення сфери надання послуг, залучення нових клієнтів й відповідно збільшення обсягів виробництва, тим же статутом передбачена й можливість здійснення й інших видів діяльності, частина з яких вже виконується, а саме: торгівля автомобілями та легковими автотранспортними засобами (КВЕД 45.11), торгівля іншими автотранспортними засобами (КВЕД 45.19), оптова торгівля деталями та приладдям для автотранспортних засобів (КВЕД 45.31), роздрібна торгівля деталями та приладдям для автотранспортних засобів (КВЕД 45.32), ремонт і технічне обслуговування інших транспортних засобів (КВЕД 33.17),

вантажний автомобільний транспорт (КВЕД 49.41), складське господарство (КВЕД 52.10), рекламні агентства (КВЕД 73.11), дослідження кон'юнктури ринку та виявлення громадської думки (КВЕД 73.20) та надання інших допоміжних комерційних послуг (КВЕД 82.99) [1]».

За постійний високий рівень організації та здійснення виробничої діяльності, підприємство багаторазово було визнано регіональним й дилерським лідером у різних галузевих номінаціях. Так, у 2016-2018 рр. ПП «Авто-Шанс Центр» стало кращим дилерським підприємством в Україні французької автокомпанії «PSA» за показниками обсягів реалізації та сервісного обслуговування легкових автомобілів марки «Peugeot», а у 2021 р. й у 2023 р. отримало аналогічну нагороду від вже компанії «Skoda» [3].

На поточний час підприємство структурно поділено на чотири модулі, якими є дилерські автосалони (рис. 1.3) й відповідні сервісні підрозділи (рис. 1.4) провідних європейських автокомпаній «Skoda», «Peugeot», «Citroen» та «Opel».



Рисунок 1.3 - Автосалони ПП «Авто-Шанс Центр»



Рисунок 1.4 – Сервісні підрозділи автокомпаній «Skoda», «Peugeot», «Citroen» та «Opel» у ПП «Авто-Шанс Центр» (м. Кропивницький)

До виробничої структури підприємства також входять підрозділи із замовлення й доставки запасних частин та мастильних матеріалів, відкриті оглядові й стоянкові майданчики, зони очікування, харчування та відпочинку тощо [1, 3].

Весь перелік послуг, що надається підприємством й включає проведення діагностичних, сервісних, ремонтних й інших видів робіт, виконуються лише висококваліфікованим персоналом, який пройшов обов'язкове навчання й має відповідні фірмові сертифікати, із залученням також фірмового обладнання й інструментів за умови жорсткого контролю щодо дотримання необхідних методик, технологій й нормативів наданих автовиробниками [2].

Цей перелік передбачає виконання наступних видів робіт [2, 3]:

- «• планового технічного обслуговування (ТО) автомобілів;
- інструментального контролю (ІК);
- ремонту автомобілів (РА) в гарантійний та післягарантійний період;
- діагностики електронних і електричних систем автомобілів;
- діагностики двигунів, трансмісій, ходових частин і механізмів керувань;
- ремонту всіх вузлів і механізмів автомобілів, включаючи двигуни, механічні та автоматичні трансмісії;
- перевірки, заправки й ремонту кліматичних систем;
- промивки паливних систем двигунів;
- шиномонтажу та балансування автомобільних коліс;

- мийки автомобілів та їх агрегатів, детейлінгу та клінінгу салонів;
- антикорозійної обробки кузовів;
- тонування скла;
- встановлення сигналізацій, аудіосистем, протитуманних фар тощо [2]».

1.2. Оцінка специфіки та ефективності здійснення виробничої діяльності автопідприємства

Ефективність роботи підприємства контролюється відповідними підрозділами, які входять до його структури – фінансовим відділом й службою маркетингу. Перший підрозділ, фінансовий, забезпечує оцінку рівня прибутковості підприємства оцінюючи обсяги надходжень грошових коштів (доходів) й видатків (зобов'язань), натомість як другий, відділ маркетингу - виконує моніторинг поточного стану специфіки надання послуг й формує прогностні очікування потрібних структурних змін у найближчій перспективі (на 1-3 роки) [2].

Під час проходження переддипломної практики на підприємстві у вересні-жовтні 2023 р. було встановлено (за даними відділу маркетингу), що виробничі показники підприємства в річному вимірі, характеризуються двома факторами, що мають різні показники. Так, встановлено, що є певні види робіт із фактично стабільними й передбачуваними загально річними обсягами, натомість як роботи другої групи характеризуються суттєвими річними (впродовж місяців року) й щорічними коливаннями й формують складу прогностну оцінку [2].

Так, у період 2015-2022 рр. показники були більш стабільними, що дозволяло розробляти концепції розвитку підприємства на наступні 5...10 років, то на зараз такі часові інтервали є завеликими й коректна прогностна оцінка може бути надана лише на 1 або максимум на 2 роки [2].

Використовуючи отримані на підприємстві дані за 2022-2023 роки, мною був проведений загальний поетапний аналіз ефективності функціонування ПП «Авто-Шанс Центр» [2], який дозволив критично оцінити основні напрямки його діяльності й сформувані власні пропозиції щодо необхідності й доцільності реорганізації його структури у наступні декілька років.

На першому етапі цього аналізу було виконано оцінку обсягів виконаних підприємством робіт в розрізі категорій автомобілів, яким були надані послуги.

Так як підприємство здійснює підтримку супроводу АТЗ як у гарантійний так й післягарантійний експлуатаційні періоди, що суттєво відрізняються між собою за номенклатурою та обсягами дій, то всі автомобілі були умовно поділені на дві групи (категорії) – «гарантійні» та «не гарантійні» (рис. 1.5).

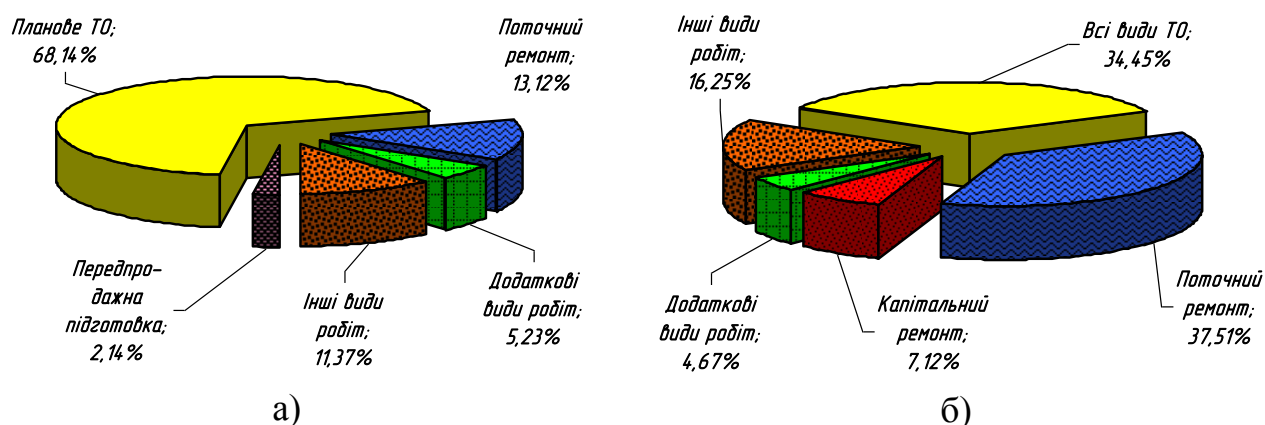


Рисунок 1.5. – Обсяги виконаних у 2022-2023 рр. робіт для двох категорій АТЗ:

а – «гарантійні»; б – «не гарантійні».

Даний етап аналізу показав (див. рис. 1.5), що присутні як певна однаковість так виявлені й явні відмінності у структурах й обсягах виконаних робіт для цих двох категорій АТЗ. Одноковим для двох груп є те, що більшими сукупними обсягами технічних дій у їх структурах є виконані операції з ТО 81,26% («гарантійна» категорія) та 79,8% («не гарантійна» категорія) та ремонту – 13,12% проти 37,51% для «гарантійної» й «не гарантійної» категорій відповідно. Відмінностями же структур є питомі показники цих й інших робіт у сегментах: так «гарантійний» період, який починається з моменту реалізації АТЗ й триває в більшості 1...2 роки (або 100 тис. км), обсяги робіт, що припадають на планове ТО складають 68,14% й є більшими у 5,2 разів за обсяги проведених ремонтних впливів (13,12%) [2]. «Не гарантійний» експлуатаційний період характеризується збільшенням обсягів саме виконаних ремонтних дій (44,63%), натомість як обсяги виконання операцій ТО – навпаки скорочуються (34,45%).

Характеризуючи зміни в обсягах виконаних підприємство робіт за іншими групами, потрібно відмити наступне. Такий вид робіт як передпродажна підготовка (2,14%) із зрозумілих причин присутня у структурі лише «гарантійної» категорії АТЗ. Так само роботи з капітального ремонту АТЗ (7,12%) є характерними лише для автомобілів другої групи, так як виконуються при значних величинах їх термінів експлуатації (пробігів). Щодо зміни обсягів

виконання додаткових й інших видів робіт, то їх обсяги залишаються більш менш стабільними із незначними коливаннями за двома категоріями у діапазонах 4,67%...5,23% (для додаткових робіт) й 11,37%...16,25 (для інших робіт) [2].

На другому етапі аналізу було виконано оціночні дослідження впливу експлуатаційного терміну використання АТЗ на характер зміни обсягів виконаних для них різних технічних дій у загальних (рис. 1.6) та відносних (рис. 1.7) показниках. Для цього всі АТЗ, що обслуговувалися на підприємстві були поділені на вікові групи, при цьому критерієм їх співвіднесення – виступали часові терміни їх перебування у експлуатації починаючи із моменту реєстрації [2].

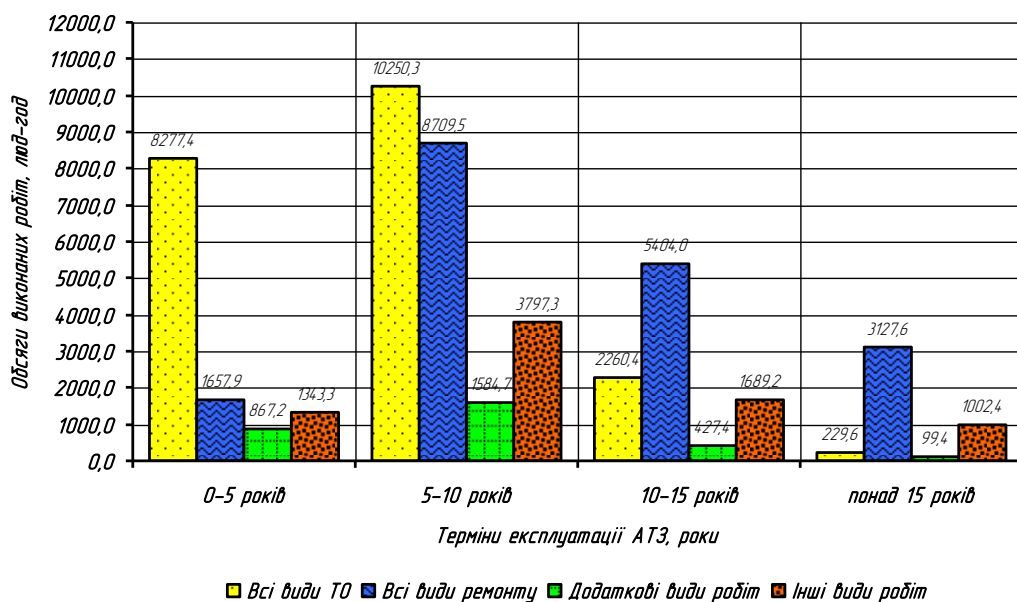


Рисунок 1.6 – Обсяги (люд.-год.) виконаних підприємством основних видів технічних дій для АТЗ різних вікових груп

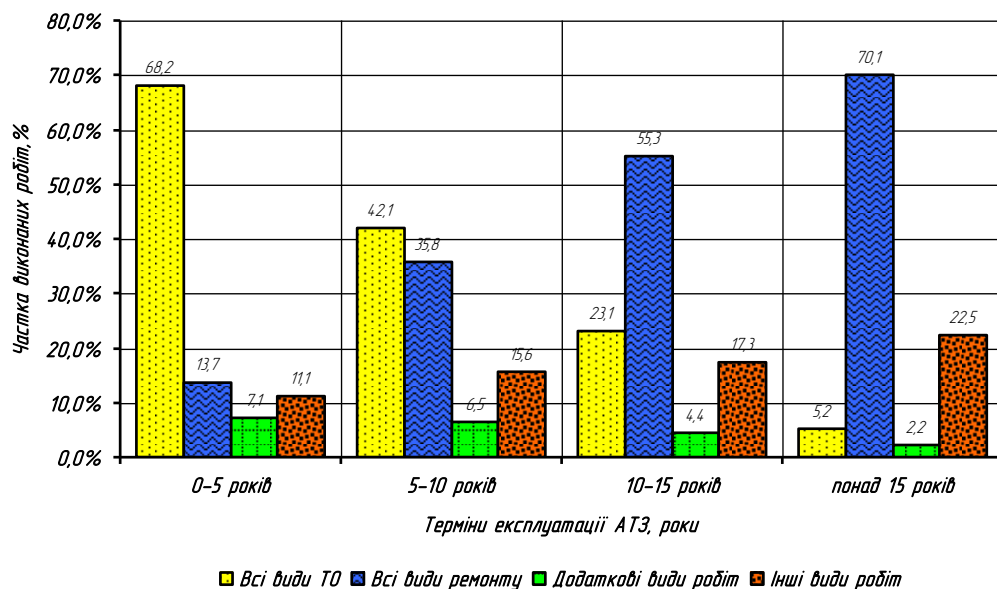


Рисунок 1.6 – Відносні обсяги (%) виконаних підприємством основних видів технічних дій для АТЗ різних вікових груп

Аналіз представленої на рис. 1.6 та рис. 1.7 інформації дав можливість зробити наступні висновки [2]:

- експлуатаційні терміни (пробіги) АТЗ суттєво змінюють як структуру так обсягів виконання різних видів робіт;
- із збільшенням термінів експлуатації АТЗ, що є природнім, фіксується збільшення (у 5,13 разів) обсягів виконання ремонтних операцій в діапазоні 13,65%...70,14%, натомість обсяги сервісних робіт (ТО) навпаки зменшуються у 13,23 рази (68,15%...5,15%);
- аналогічний характер змін показують й обсяги виконаних додаткових та інших видів робіт – відмічене зниження у 3,2 рази (7,14%...2,23%) для додаткових робіт й збільшення у понад 2,1 рази для інших видів робіт (11,06%...22,48%);
- максимальні обсяги виконання робіт потребує вікова група АТЗ із експлуатаційними термінами 5...10 років (24341,8 люд.-год.), а мінімальні – із термінами понад 15 років (4459,5 люд.-год.);
- найбільш масова група АТЗ, що перебувають у експлуатації від 5-ти до 10 років, потребує проведення 10250,3 люд.-год. сервісних та 8709,5 люд.-год. ремонтних робіт.

На третьому, поглибленому, етапі аналізу було визначено структуру й обсяги робіт, виконаних підприємством у 2022-2023 рр., в розрізі окремих систем й механізмів АТЗ, для чого їх попередньо було поділено на 8 основних структурних частин (за будовою). Результати цього аналізу не враховували марочні й модельні особливості конструкцій АТЗ й формують лише наближених характер (рис. 1.8) [2].

Дослідження виявили (див. рис. 1.8), що найбільші обсяги робіт всіх виконаних підприємством видів технічних дій по АТЗ припадають на такі 3 їх основні системи як: ходові частини (11401,1 люд.-год. або 21,2%), їх двигуни (11010,0 люд.-год. або 21,7%) й гальмівні системи (7850,6 люд.-год. або 15,4%).

На останньому етапі було складено для підприємства SWOT характеристику, яка встановила й дозволила порівняти його «сильні» й «слабкі» показники діяльності, проявити основні групи факторів «ризиків» й оцінити

наявні «можливості» (рис. 1.9). Даний аналіз є загальноприйнятим й дозволяє встановити найбільш перспективні напрямки можливої реорганізації структури виробництва й забезпечити можливість, за умови їх реалізації, підвищення показників ефективності підприємства у найближчій перспективі [2].

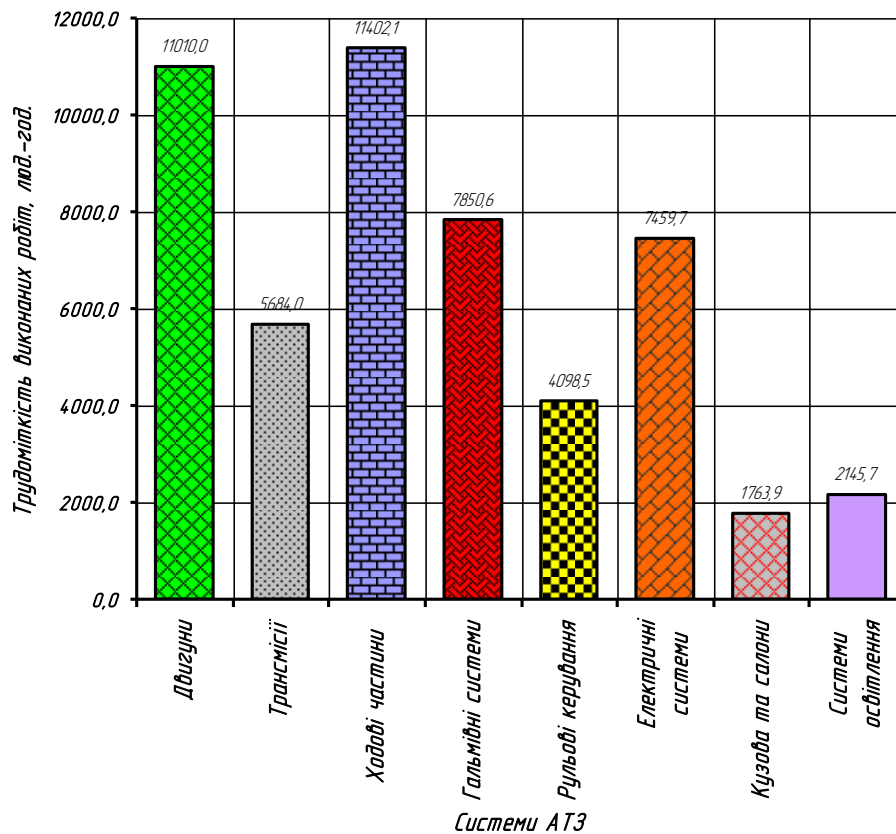


Рисунок 1.8. – Обсяги виконаних підприємством робіт в розрізі основних систем й механізмів АТЗ

Оцінюючи роботу служби маркетингу ПП «Авто-Шанс Центр» можна відзначити, що на підприємстві постійно діє програма з виявлення сучасних інноваційних методик й технології підвищення показників блоку «Сильні сторони» й «Можливості» та зменшення факторів, що входять до блоків «Слабких сторін» й «Загроз». На даному етапі підприємство виконує антикризову програму, основними напрямками якої є: активна співпраця з клієнтами, ефективна мотивація персоналу в рамках стратегії збереження, омолодження та сталого розвитку колективу. В рамках цієї програми у 2020-2023 роках вже були реалізовані наступні заходи [2]:

- підвищено фаховий рівень менеджерів, що дозволило підвищити якість їх спілкування з клієнтами та фаховий рівень надання інформативних консультацій;

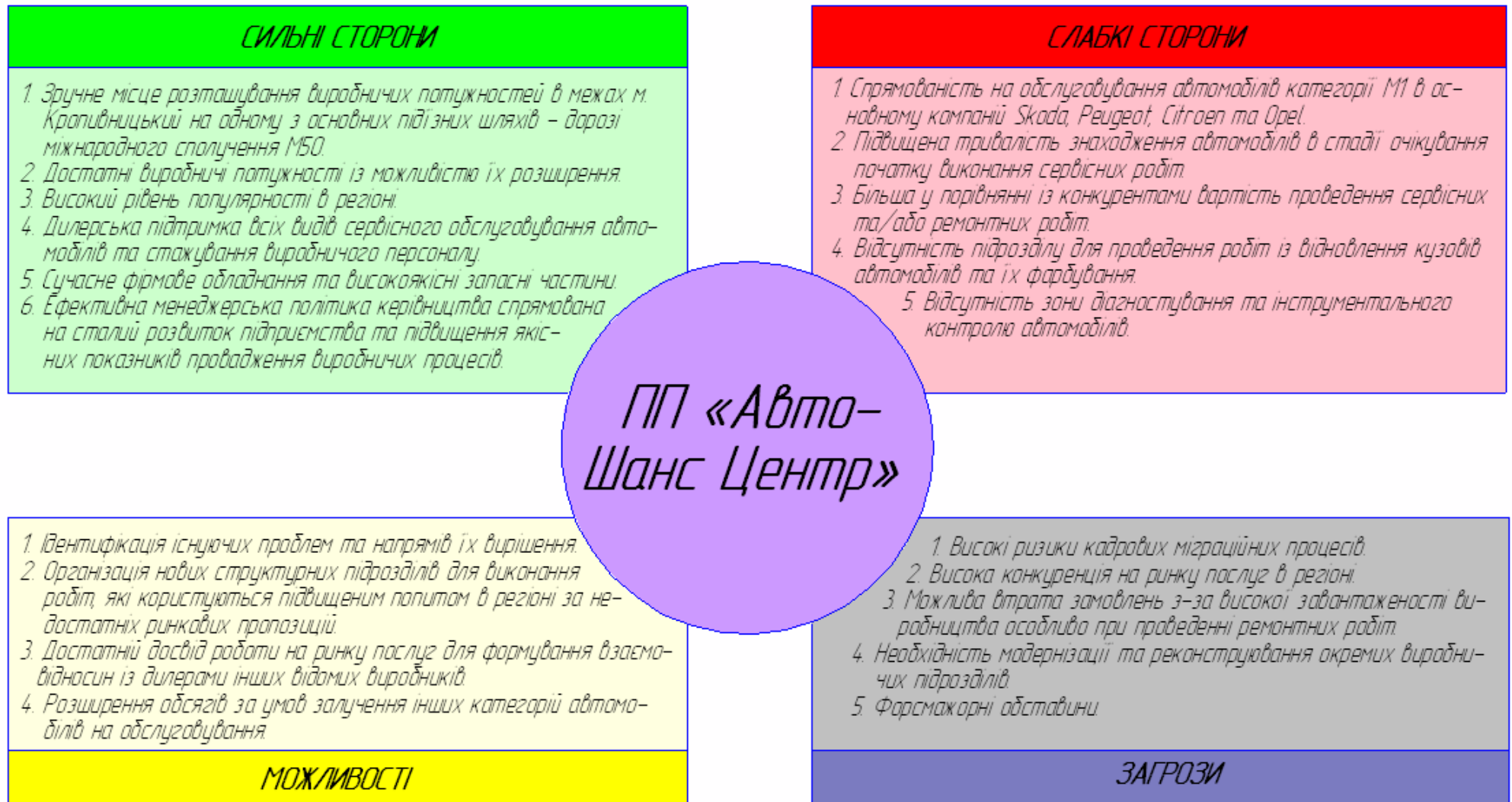


Рисунок 1.9 – SWOT характеристика ПП «Авто-Шанс Центр»

- забезпечується максимально можливе виконання обсягів запланованих робіт;
- здійснюється регулярний контроль за рівнем якості виконання технологічних операцій;
- впроваджена система інформування клієнтів щодо часу перебування АТЗ у сервісі, потреби у обсягах робіт, що потребують виконання й часових термінів їх реалізації;
- впроваджено процедура дотримання контролю якості робіт;
- виконання робіт проводиться у відповідності до положень закону про працю й із дотримання норм трудової й виробничої дисципліни, правил внутрішнього розпорядку й охорони праці, промислової санітарії та протипожежної безпеки;
- діє програма підтримки клієнтів й моніторингу технічного стану АТЗ після виконання складних ремонтних операцій;
- впроваджено методику сталого підвищення рівня професіоналізму персоналу за рахунок регулярного підвищення їх кваліфікації;
- створено всі належні умови для зручного та комфортного перебування клієнтів на підприємстві в процесі очікування власних АТЗ тощо.

1.3 Визначення актуальних напрямків досліджень

Разом з тим, підприємство завжди вишукує нові виробничі спрямування, які дозволять йому бути більш конкурентними на ринку даного виду послуг у регіоні. У 2023 р. такими напрямками було визнано:

1. Дослідження особливостей експлуатації та сервісного обслуговування автомобілів із гібридними силовими установками.
2. Оцінка ефективних показників електромобілів категорії М1 в експлуатаційних умовах м. Кропивницький.
3. Підвищення конкурентноздатності підприємства за рахунок удосконалення форм організації технологічних процесів надання послуг та виробничої структури.

Офіційний лист від ПП «Авто-Шанс Центр» за підписом його керівника А.

Максименко, в якому зазначена дана наукова тематика, найшов до кафедри ЕРМ ЦНТУ у вересні 2023 р. з проханням виконати дослідження за означеною актуальною для підприємства тематикою в контексті підготовки магістерських кваліфікаційних робіт здобувачами другого ОКР спеціальності 274 «Автомобільний транспорт».

Під час вибору однієї із цих тем ми користувалися наступними міркуваннями. Найбільш вагомою проблемою світового масштабу, яка є й залишається актуальною беззаперечно є збереження навколишнього середовища, яке постійно сприймає різні техногенні впливи, обумовлені нашою діяльністю. Одним із них є токсичні відпрацьовані гази двигунів внутрішнього згорання (ДВЗ) АТЗ. Виробники автомобілів із такими двигунами активно використовують для цього різноманітні технології, наприклад такі як: застосування каталітичних нейтралізаторів для хімічного перетворення шкідливих компонентів на не шкідливі; використання альтернативних видів палива із добавками спиртів для покращення процесів згорання сумішей; використання спеціальних нагнітачів (турбін та компресорів) та ін. Одним із дійсно перспективних напрямків можна вважати заміну ДВЗ іншими типами двигунів, такими як електричні та гібридні. Останні створенні на базі ДВЗ із додаванням до них інших типів двигунів, як правило тих самих електричних. В результаті, більш коректно використовувати замість терміну «гібридні двигуни» термін «гібридні силові установки» або скорочено ГСУ.

На поточний час більшість провідних світових автобудівних компаній вже тривалий час проводять розробки таких ГСУ, а окремі з них – вже виробляють й реалізують моделі АТЗ різних категорій (в більшості М1 та М2) з такими силовими установками. Але першими виробниками, які серійно реалізували такий підхід визнано японські компанії «Toyota Motor Corporation» й «Honda Motor Company», які випустили власні перші «гібридні автомобілі» відповідно «Toyota Prius I» (1997 р.) й «Honda CR-Z» (2010 р.).

На поточний час проблема підвищення енергоефективності АТЗ в контексті використання ГСУ набула додаткової значимості, що обумовлено багаторічною тенденцією до суттєвого подорожчання нафти й значним світовим попитом на нафтове паливо, особливо в країнах із динамічним и розвитком та

надмірним населенням - Китаї й Індії. Критичне подорожчання нафти стало проблемою забезпечення транспорту енергоресурсами у США й окремих країнах Євросоюзу, що визнано в них проблемою національної безпеки.

Автомобіль оснащений ГСУ є високо економічним АТЗ, рух якого забезпечується функціонуванням технічної системи «електродвигун – ДВЗ», яка використовує в якості палива як звичайні нафтові вуглеводні, так й електричний струм від акумулятора. Головна перевага такого АТЗ, а саме зниження рівня витрати палива й викидів токсичних речовин із його відпрацьованими газами (ВГ) досягається за рахунок автоматизації режимів роботи двигунів. Це дозволяє забезпечувати своєчасне відключення ДВЗ під час зупинки АТЗ, можливість початку руху автомобіля без запуску ДВЗ виключно використовуючи для цього електричну енергію силової АКБ, застосовувати технологію збереження кінетичної енергії руху АТЗ в процесі його сповільнення за рахунок її рекуперації (перетворення) у електричну із наступним використанням для зарядки АКБ й живлення силового електродвигуна.

Використання ГСУ дозволяє забезпечити не тільки суттєве зниження кількості токсичних речовин АТЗ (сажі та вуглеводнів на 90%, оксидів азоту - на 50%), що викидаються ним у навколишнє середовище, а й зменшити витрати палива. Експериментальними дослідженнями встановлено, що економія палива при використанні ГСУ може складати до 60% у порівнянні із ДВЗ, що використовують дизельне паливо, забезпечуючи при цьому інтенсифікацію руху АТЗ в режимі прискорення на 50%.

Основними ж завданнями, які повинна реалізувати ГСУ на АТЗ є:

- зменшення шкідливих викидів ДВЗ у атмосферу та зниження рівня витрати традиційного (нафтового) палива;
- забезпечення високих експлуатаційних характеристик й динамічних характеристик АТЗ за рахунок прискореного виділення та перетворення енергії у механічну роботу;
- повернення частини енергії (кінетичної), що витрачається при сповільненні та/або гальмуванні АТЗ;
- раціональне керування витратами різних видів енергій тощо.

На поточний час ринок АТЗ із ГСУ знаходиться в стані динамічного розвитку, що обумовлюється дією декількох факторів. До першого можна віднести вже згадані високі цінові характеристики традиційних видів палива, що безумовно являються стимулюючим фактором як для автовиробників так й для споживачів – покупців АТЗ, які бажають мінімізувати власні експлуатаційні витрати. Не останнім в цій ситуації є й бажання власників автомобілів володіти більш технічно досконалими АТЗ.

Іншим фактором виступають обмеження щодо граничних термінів застосування ДВЗ в якості основних типів двигунів на АТЗ. Перелік таких обмежень постійно розширюється; все більша кількість країн, особливо країн ЄС, нормативно зафіксували часові терміни початку заборони реєстрації на власній території АТЗ оснащених ДВЗ. Такими країнами є: Франція (обмежила продаж бензинових й дизельних ДВЗ із 2040 р.), Велика Британія (запровадила концепцію досягнення нульової емісії ВГ до 2050 р.), Норвегія (запланувала перехід лише на електротранспорт до 2025 р.), Нідерланди (популяризує продаж АТЗ із електродвигунами за рахунок надання компенсацій на їх придбання), Німеччина (готова зупинити реалізацію нових АТЗ із ДВЗ, що працюють на бензині й дизельному паливі вже до 2030 р.) та Індія (забороняє використання ДВЗ із 2030 р.). Є й такі країни, як наприклад, Китай, який жодних офіційних заборон щодо граничних термінів відмов від використання ДВЗ на АТЗ не надавав, разом з тим вже зараз є регіональним й світовим лідером за обсягами реалізації електромобілів в абсолютних показниках.

Слід відзначити, що АТЗ оснащені ГСУ є популярними й в Україні – динаміка реалізації нових таких АТЗ й таких, що вже були у використанні, є свідченням цього. Більш детально підтверджуюча інформація з цього питання буде надана в наступному розділі роботи. Більшість потенційних покупців таких автомобілів приваблює в них саме зменшений рівень витрати палива, що на тепер є дуже актуальними для нашої країни в розрізі вже високих й надалі зростаючих цін на нафтове паливо.

Разом з тим, дійсний рівень паливної економічності АТЗ із ГСУ в реальних експлуатаційних умовах може суттєво відрізнятись від задекларованого заводом

виробником й, як правило, у більшу сторону. Це обумовлено тим, що такі АТЗ використовують як традиційне паливо, так й електричну енергію силових акумуляторних батарей (САБ), що в конструкціях сучасних «гібридних» АТЗ може бути поповнена від стаціонарної електричної мережі (технологія «Plug-In») (рис. 1.10). Розрахунок ускладнюється тим, що на енергетичні витрати АТЗ з електроприводом впливають різні технічні, експлуатаційні, економічні та суб'єктивні фактори.

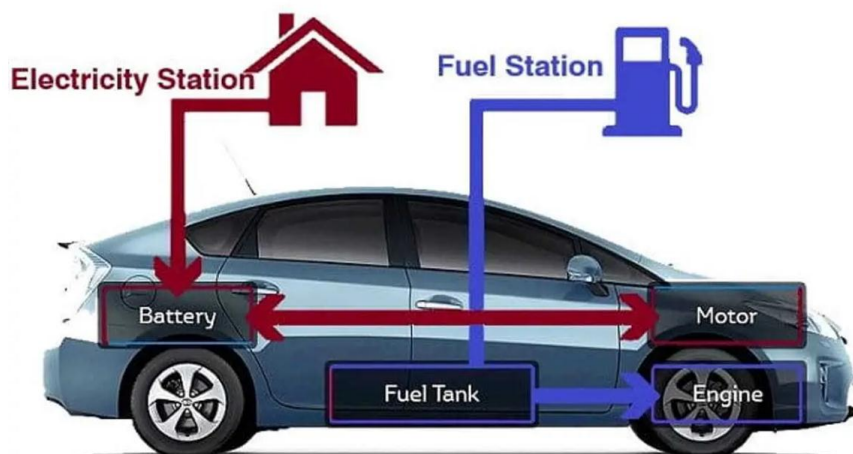


Рисунок 1.10 – Енергозабезпеченість АТЗ із ГСУ

Так, до технічних факторів фахівці відносять безпосередньо характеристики АТЗ: енергоемність САБ, тип акумуляторів, максимальну дальність пробігу та швидкість при роботі виключно від САБ, термін роботи САБ до заміни та інтенсивність їх деградації й ін.

Експлуатаційні фактори включають транспортні, природно-кліматичні й дорожні умови, а саме: вагу АТЗ, температурні показники навколишнього середовища, характеристики й параметри руху АТЗ (швидкість, середньодобовий пробіг, динаміку й інтенсивність руху тощо).

До економічних факторів відносять вартість енергоносіїв: традиційного (нафтового) палива та електроенергії, витрати на обслуговування й ремонт АТЗ (включаючи вартість заміни елементів САБ).

Суб'єктивними факторами виступають, наприклад, ергономіка водія та пасажирів, достатність обсягів багажного відділення, керованість й маневреність АТЗ, та інші його показники.

Оцінюючи суб'єктивні фактори, як найменш впливові, при визначенні доцільності придбання АТЗ і ГСУ, наступним фактором, який визначає

ефективність використання таких автомобілів виступає беззаперечно економічний фактор. Разом з тим, дослідження паливної економічності АТЗ оснащених ГСУ не можна проводити загально відомими тестами та методиками оцінки. Це пов'язано із тим, що сучасні АТЗ із ГСУ під час руху можуть використовувати лише один електричний двигун, що живитися від САБ, заряд яких отриманий не від генератору ДВЗ автомобіля, а за рахунок накопиченої ними електричної енергії від стаціонарної мережі.

В такому разі, реальну величину витрати палива можна визначити за умови перерахунку вартості витраченої електроенергії в показники вартості нафтового палива (наприклад, бензину) й отримати так звану еквівалентну витрату палива. Враховуючи різну вартість нафтового палива та електроенергії в різних країнах, показники ефективності використання АТЗ із ГСУ також будуть різними. Більш того, в експлуатаційних умовах автомобілі мають різну вагу (завантаження) та змінні температурні показники навколишнього середовища, що безумовно також впливатиме на рівень паливної економічності АТЗ із ГСУ.

Саме тому, *метою роботи* було визначено проведення досліджень спрямованих на оцінку ефективності експлуатації АТЗ із ГСУ в змінних експлуатаційних умовах при забезпеченні мінімізації витрат на енергоносії. Для досягнення поставленої мети, в роботі потребували вирішення *наступні задачі*:

- навести класифікацію існуючих типів АТЗ із ГСУ та дослідити особливості формування сегменту ринку цих автомобілів в Україні;
- удосконалити методику та виконати оцінку витрат різних видів енергії (палива та електроенергії) АТЗ із ГСУ в різних режимах експлуатації: «ДВЗ+електромотор», «лише ДВЗ», «лише електромотор»;
- виконати дослідження максимальної дальності пробігу АТЗ із ГСУ при зміні рівня його завантаженості, параметрів природнокліматичних умов та енергоємності САБ;
- дослідити особливості сервісного обслуговування АТЗ із ГСУ.

Отже, *об'єктом досліджень* виступає процес забезпечення ефективності експлуатації АТЗ із ГСУ. *Предметом дослідження є* вплив експлуатаційних режимів на витрати енергоносіїв АТЗ із ГСУ, що використовують технологію «Plug-In») в режимі руху від САБ.

Розділ 2

АНАЛІЗ ОСОБЛИВОСТЕЙ ФОРМУВАННЯ ПАРКУ АТЗ ІЗ ГСУ

2.1 Класифікація АТЗ категорії М1 оснащених гібридними силовими установками (ГСУ)

Автомобілі із ГСУ характеризуються конструкціями силових установок в яких поєднані два або більше двигунів різних типів. Така концепція не є сучасним винаходом; перші розробки автомобілів із ГСУ з'явилися ще у 19 столітті. На поточний час найбільш поширені конструктивні рішення передбачають наявність двох типів двигунів, одним з яких є традиційний ДВЗ, а іншим – електричний двигун (електромотор) або декілька електромоторів, які в залежності від режиму руху АТЗ, разом або окремо створюють тягову силу на ведучих колесах. До конструкції таких ГСУ, що поєднує їх з електромобілями, обов'язково входить й силова акумуляторна батарея (САБ), але меншої ємкості, яка забезпечує накопичення енергії із наступною її подачею до тягового електромотора. Способи зарядки САБ можуть бути реалізовані по різному: від класичного бензинового або дизельного ДВЗ, при гальмуванні та/або сповільненні від мотор-генератора, від зовнішнього стороннього джерела енергії.

Отже по суті «гібридний АТЗ» поєднує в собі одночасно два різних автомобілі – класичний автомобіль із ДВЗ та електромобіль, але частково. Як вже було зазначено у попередньому розділі, головними задачами створення й застосування ГСУ було поєднання найкращих якостей обох типів двигунів й, як результат, підвищення рівня екологічності автомобілів й зниження витрати ними палива [3, 4, 5, 6, 7, 8].

Результатом цього є створення на поточний час цілої низки відмінних між собою конструктивних способів взаємного поєднання двох різних типів двигунів, задля отримання зазначених вище позитивних ефектів. За типами кінематичних зв'язків реалізованих у конструкціях самих ГСУ та трансмісіях автомобілів, їх прийнято поділяти та класифікувати на три основних типи (рис. 2.1): послідовні, паралельні та послідовно-паралельні або змішані ГСУ [3, 4, 5, 6, 7, 8]. Звісно, кожна із існуючих схем має власні, притаманні лише їй, переваги та недоліки, про які сказано буде нижче.

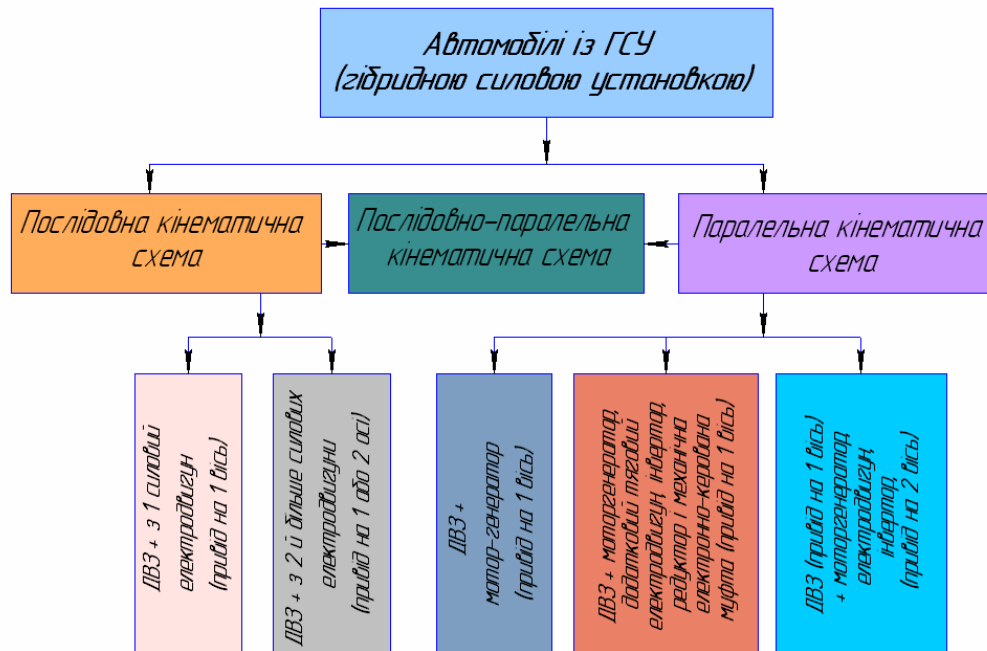


Рисунок 2.1 – Класифікація АТЗ за типами кінематичних схем ГСУ

2.1.1. «Послідовна» схема ГСУ. У «послідовній» кінематичній схемі основними тяговим двигуном виступає електромотор, натомість як ДВЗ забезпечує його роботу, приводячи в дію електрогенератор та заряджаючи електричним струмом САБ. Саме така конфігурація двигунів забезпечує послідовність вироблення енергії ГСУ. Застосування послідовної схеми ГСУ дозволяє забезпечити роботу ДВЗ на режимах, що характеризуються мінімальними значеннями показників витрати палива й вмісту токсичних речовин у їх ВГ. При цьому, для оптимізації даних параметрів, роботу ДВЗ загалом можна забезпечити на сталому (незмінному) швидкісному режимі. Основний же тяговий електричний мотор при цьому повинен забезпечувати весь діапазон потрібних динамічних властивостей АТЗ, тобто генерувати змінну потужність співвіднесену до поточних умов руху автомобіля. Деякі, найбільш поширені, варіанти реалізації «послідовної» кінематичної схеми ГСУ представлені на рис. 2.2.

У «послідовній» схемі (див. рис. 2.2) прямих кінематичних зв'язків між ДВЗ й ведучими колесами АТЗ не може існувати загалом. При цьому, так як ДВЗ не здатний передавати крутний момент до ведучих коліс автомобіля, то потужність, що ним генерується й передається до буферного накопичувача, не може бути меншою за середню потужність, що на поточний час потрібна для забезпечення руху АТЗ.

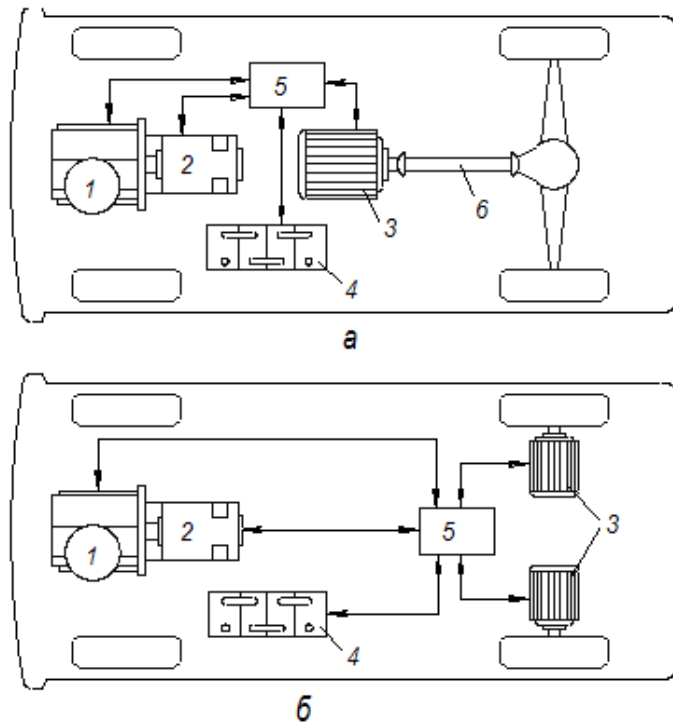


Рисунок 2.1 – «Послідовна» кінематична схема ГСУ АТЗ:

а – з одним силовим електродвигуном; б – з двома силовими електродвигунами.

1 – ДВЗ; 2 – електромотор-генератор; 3 – силовий (тяговий) електродвигун; 4 – САБ; 5 – електронно керуючий модуль; 6 – карданна передача.

Натомість потужність й електромагнітний момент створені тяговим електромотором повинні відповідати максимальним потужності й крутному моменту коліс. В даній кінематичній схемі кількість ведучих осей АТЗ може бути різною: для АТЗ категорії М1 та М2 це, в більшості, відповідає їх колісним формулам (4×2 та/або 4×4), як й навантаження на ці осі. Для вантажних АТЗ категорій N1-N3 із більшою кількістю осей, в тому числі й ведучих, більш перспективним є реалізація «послідовної» схеми при застосуванні декількох електромоторів. В таких схемах установка в трансмісіях додаткових механічних передач між електромоторами й ведучими осями (колесами) ускладнена; індивідуальний же електропривід суттєво спрощує проблему - за необхідності можна забезпечити й повно привідну схему при встановленні електромоторів у кожне колесо.

При цьому, загальне зниження маси АТЗ за рахунок видалення окремих механічних вузлів, навіть із врахуванням маси додатково встановлюваних

електромоторів-генераторів й буферного накопичувача, може бути значною. Такі конструкторські рішення обумовлюють зменшення необхідної потужності ДВЗ й позитивним чином впливають на економію АТЗ палива, яка навіть здатна перекривати витрати, пов'язані із подвійним перетворенням енергії.

Відсутність прямого кінематичного зв'язку ДВЗ із ведучими колесами АТЗ дозволяє застосовувати нові підходи у проектуванні конструкцій ДВЗ й електромоторів-генераторів, наприклад створення вільно-поршневих ДВЗ (за відсутності в них колінчастих валів й КШМ) й електромоторів-генераторів із лінійною функцією ротора.

Перевагою даної схеми є виключення із конструкції трансмісії АТЗ коробок передач (КП), зчеплення й карданного валу, що дозволяє істотно знизити як обертові маси, так й вагу трансмісії. При цьому, зниження моменту інерції за рахунок зміни величин передаточних чисел трансмісії, позитивним чином впливає на процес нерівномірно-поступального руху АТЗ. Це пояснюється тим, що коефіцієнт обертових мас безпосередньо залежить від передаточного числа трансмісії й із його зменшенням за квадратичною залежністю знижуються й загальна маса АТЗ й необхідна для його розгону потужність. Ще однією загальною перевагою є конструктивна можливість більш вільного компоновання вузлів й агрегатів АТЗ, так як вже не зв'язані із колесами ДВЗ й електромотор-генератор можуть розміщуватися у більш зручних для конкретної компоновальної схеми автомобіля просторових зонах й місцях.

2.1.2. «Паралельна» кінематична схема. У «паралельній» схемі реалізована концепція застосування електроприводу на базі електромотору-генератору, який з'єднаний із колінчастим валом ДВЗ (рис. 2.3). Таким чином ведучі колеса можуть приводитися в дію як ДВЗ так й силовим електромотором, або ними обома одночасно. Така схема дозволяє вимикати ДВЗ під час нетривалої зупинки АТЗ й здійснювати швидкий автоматичний наступний запуск ДВЗ електромотором для початку руху. При цьому мотор-генератор може не лише створювати запуск ДВЗ, а й забезпечувати початок руху й подальше прискорення автомобіля на електротязі. В базовій схемі (рис. 2.3 а) реалізована концепція мінімізації витрат палива й токсичних речовин у ВГ ДВЗ за рахунок його підключення до передачі крутного

моменту на ведучі колеса вже під час руху АТЗ. За таких умов робота ДВЗ забезпечується на оптимальному для нього швидкісному режимі, а мотор-генератор при цьому забезпечує процес «згладжування» пульсації моменту, що створюється ДВЗ, що в результаті знижує вібраційний рівень й збільшує ресурс механізмів трансмісії. Одночасно при цьому вирішується й проблема забезпечення компенсації дефіциту потужності бортової електромережі, характерна для сучасних енергонасичених АТЗ.

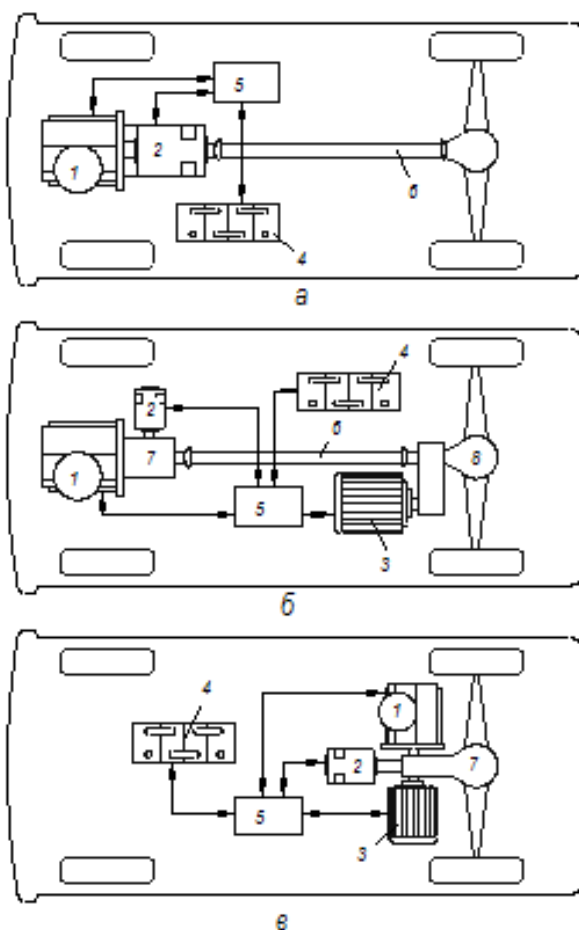


Рисунок 2.3 – «Паралельна» кінематична схема ГСУ заднєпривідного АТЗ:

а – базова передньомоторна схема; б – базова з додатковими системами; в – із заднім розміщенням ДВЗ

1 – ДВЗ; 2– мотор-генератор; 3 – тяговий електродвигун; 4 – САБ; 5 – електронно керуючий модуль; 6 – карданна передача; 7 – механізм розподілу потужності; 8 – диференціал.

Кращі результати й більшу гнучкість керування забезпечує вдосконалена модифікація базової «паралельної» схеми при застосуванні додаткових (за виключенням мотор-генератору): тягового електродвигуна із інвертором,

редуктору й механічної електронно керованої муфти, що дозволяє реалізувати той або інший вид підведення моменту до ведучих коліс (рис. 2.3 а та рис. 2.3 б).

Один із варіантів «паралельної» схеми (рис. 2.3 б) заснований на використанні механічного (від ДВЗ) й електромеханічного (від мотор-генератора, через САБ, інвертор й тяговий електродвигун) шляхів підведення моменту до ведучих коліс. Застосовують, хоча й рідше, й «змішану» або «послідовно-паралельну» кінематичну схему (рисунок 2.3 в), в якій ДВЗ й електромотор-генератор передають крутний момент на єдину планетарну передачу («Split»-система).

У такій «Split»-схемі, потік потужності до ведучих коліс від обох двигунів розділяється: вихідні валу ДВЗ й електромотору-генератора з'єднані із роздільними входами планетарного редуктора. Крім того, вихідний вал планетарного редуктора з'єднаний із валом силового електродвигуна. Така схема забезпечує ефективне керування потоками потужності й стабілізацію режиму роботи ДВЗ за умови застосування генератору й силового електродвигуна, що мають відносно невеликі показники потужності. Саме за такою «послідовно-паралельною» кінематичною схемою виконана більшість ГСУ сучасних АТЗ категорій М1 та М2.

У паралельній схемі крім використання електротяги на початковому етапі розгону АТЗ можлива рекуперація його кінетичної енергії під час гальмування (сповільнення) із наступним використанням накопиченої у САБ енергії для запуску ДВЗ та/або прискорення автомобіля, що також забезпечує суттєве зниження рівня витрат палива.

Рациональне співвідношення потужностей джерел енергії у «паралельній» кінематичній схемі, а також енергоємності САБ залежать безпосередньо від експлуатаційних режимів АТЗ. У випадку руху АТЗ із високими довготривалими й стабільними швидкісними показниками (траса, автомагістраль), де відносний час розгону, гальмувань й зупинок є незначним, наведені вище обґрунтування ефекту комбінаційного поєднання тяги ДВЗ й електроприводу є неактуальними. Внаслідок наявного збільшеного ККД механічної передачі й більш високих витрат енергії при її подвійному перетворенні (механічної енергії ДВЗ у

електричну за допомогою мотор-генератора із наступним перетворенням електричної енергії у механічну при використанні тягового приводу) доцільним є використання лише ДВЗ й кінематичної схеми класичного АТЗ. Однак реальна експлуатаційна дорожня обстановка завжди має підйоми й спуски, повороти в яких відбувається гальмування й змінюється швидкість АТЗ, виникає дія бокових повітряних потоків, з'являється потреба у виконанні обгінних маневрів тощо. Опір руху АТЗ теж змінюється, що й викликає необхідність зміни режимів роботи трансмісії й двигуна та визначає підвищену витрату палива (навіть до 30%).

Для міського режиму руху АТЗ нормованими є значення прискорень, швидкостей, часу руху, пробігів й середньої частоти його зупинок. Приймаючи відповідні параметри використання АТЗ, можна визначити оптимальне за витратою палива співвідношення потужностей ДВЗ й електромотору, а також оптимальні циклограми їх узгодженої роботи для обраного режиму руху. Середня потужність міського циклу руху АТЗ є суттєво (у 3...5 разів) меншою за необхідну для забезпечення динаміки розгону й максимальної потужності. Це проявляє наявні резерви доцільності зниження потужності ДВЗ особливо при експлуатації АТЗ у міських швидкісних режимах. Враховуючи значну кількість типів й видів автомобілів реалізація концепції застосування ГСУ дозволяє сформулювати прогнозну оцінку економії палива у міському режимі руху на 25...30%, а в окремих випадках – й у 2 рази.

Вибір «послідовної», «паралельної» або «змішаної» їх кінематичних схем залежить від найбільш частих режимів руху АТЗ. Разом з тим, «змішані» або «послідовно-паралельні» схеми є більш гнучкими й дозволяють реалізувати більші можливості з оптимізації всіх робочих процесів АТЗ й їх тягово-швидкісних характеристик. Основним критерієм вибору схеми ГСУ прийнято вважати величину їх потужності, яка є критерієм для визначення вибору «послідовної» або «паралельної» схем. «Паралельна» схема є більш ефективною для АТЗ, що характеризуються сумарною потужністю ГСУ до 150,0 кВт, що є більш прийнятним для автомобілів категорій М1 та М2, натомість як «послідовну» схему застосовували при рівні потужності понад 150,0 кВт - для автобусів (категорія М3) й вантажних автомобілів (N1-N3).

На поточний час, величина потужності 150,0 кВт в якості оціночного показника під час вибору типу кінематичної схеми ГСУ не регламентується. Разом з тим, тип схеми ГСУ суттєво залежить від типу САБ (накопичувачів енергії), які складають значну частину вартості «гібридного» АТЗ (таблиця 2.1). Слід відмітити, що особливим режимом роботи АТЗ із ГСУ є режим роботи із розрядженими САБ. Так, наприклад, при потужності електромотору 30,0 кВт й ДВЗ потужністю 70,0 кВт, розряджена АКБ забезпечить АТЗ здатність генерувати на ведучі колеса лише 70,0 кВт.

Таблиця 2.1 – Типи САБ, що використовуються у різних типах АТЗ із ГСУ

Тип гібриду	Потужність електромотору, кВт	Тип САБ
Мікро-гібрид	1,5...3,0	Свинцево-кислотні АКБ
Мікро-середній-гібрид	3,0...5,0	Конденсатори
Середній-гібрид	5,0...15,0	Літієві АКБ або конденсатори
Повний-гібрид	понад 20,0	Малі літієві (полімерні) АКБ
Електромобіль	понад 20,0	Великі літієві (полімерні) АКБ

В якості іншої класифікаційної ознаки для АТЗ із ГСУ на поточний час використовують їх функціональні характеристики такі як: потужність електромотору, потужність регенеративного гальмування, дальність пробігу на електриці (рис. 2.4). Такий підхід є логічним й послідовним, з якого можна зробити висновок, що сучасні АТЗ прагнуть перетворитися у електромобілі, а АТЗ із ГСУ є проміжним етапом у їх розвитку (див. таблицю 2.1).

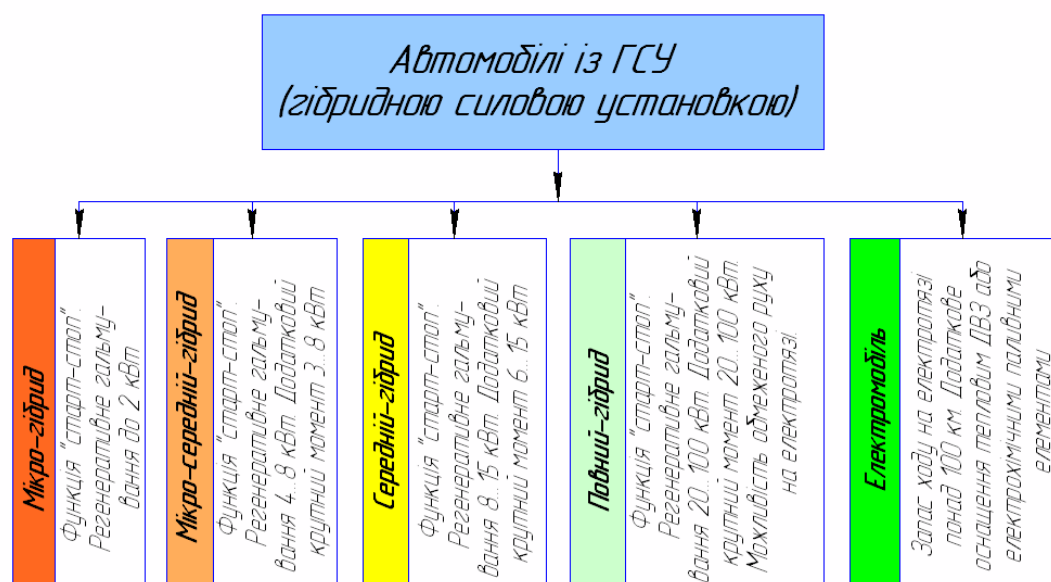


Рисунок 2.4 – Класифікація АТЗ за рівнем співвідношення параметрів їх двигунів у ГСУ

Групи «мікро-гібридів» й «мікро-середніх-гібридів» («MHEV» - «Mild Hybrid Electric Vehicle») об'єднують в собі АТЗ, які використовують для руху електромотори потужністю від 2,0 кВт до 8,0 кВт, як допоміжні, а також частково можуть накопичувати у САБ енергію гальмування, однак не здатні забезпечувати рух АТЗ виключно на електротязі. Конструктивних рішень для категорії «MHEV» є багато, а деякі з них є навіть спробами автовиробників віднести звичайні АТЗ до більш актуального для споживачів класу «гібридних». Разом з тим, «мікро-гібриди» (або «м'які гібриди») здатні забезпечити незначне зниження вмісту шкідливих викидів й підвищення показників економії палива [4, 5, 6].

Наступна група це класичні гібриди (HEV) яка об'єднує АТЗ, що поєднують в собі переваги як ДВЗ так й електромобілів, але не мають властивостей щодо зарядки власних САБ від зовнішнього джерела енергії. Вони володіють здатністю здійснювати початок руху й прискорюватися при застосуванні лише електричної складової, рекуперувати й акумулювати енергію гальмування. Трансмсія таких АТЗ в залежності від швидкості руху та навантаження, забезпечує обертання коліс лише електромотором (-ами) або лише ДВЗ, або вмикає їх одночасну дію задля отримання максимальних динамічних показників АТЗ. Існують й конструктивні схеми даної групи у повно привідній конфігурації, в яких передня ведуча вісь приводиться в дію від ДВЗ, натомість як задні колеса обертаються електромотором. Вільної енергії в таких конфігураціях не існує; процеси гальмування, робота ДВЗ без навантаження – супроводжується перетворенням різних видів енергії у електричну, яка спочатку спрямовується до САБ, а потім, за потребою, передається електромотору для забезпечення руху. Завдяки цьому й досягається відчутна паливна ефективність, особливо в умовах міського циклу, де однотипні негібридні АТЗ інтенсивно витрачають паливо. АТЗ із ГСУ в середньому витрачають не більше як 5...6 л на 100 км руху у міському режимі, що порівняно із витратами палива на замських дорогах [4, 5, 6].

Разом з тим, саме на замських дорогах під час руху із високими швидкостями САБ, як правило, вистачає лише на декілька кілометрів, й АТЗ із ГСУ втрачають свої переваги перед АТЗ із ДВЗ, так як рух забезпечується лише за рахунок роботи лише одного ДВЗ. Характеризуючи в загальному плані

недоліки таких ГСУ можна відмітити підвищену початкову вартість АТЗ й вартість їх сервісу, оскільки в конструкціях наявні як ДВЗ, так й електромотори.

Більш технічно досконалими є АТЗ із ГСУ, що оснащені вбудованим зарядним модулем («PHEV» - «Plug-in HEV»), які концептуально фактично не відрізняються від «HEV», але мають можливість поповнювати енергію у САБ від зовнішнього джерела енергії (побутової електромережі або спеціальної зарядної станції). Конструктивно такі моделі можуть мати аналогічні ГСУ із гібридами типу «HEV», за виключенням того, що в них по іншому налаштований блок керування, є зарядний порт та САБ більшої ємкості, заряду якої в залежності від моделі вистачає на 20...100 км пробігу в режимі руху на електротязі за відсутності роботи ДВЗ. Однак є й певні недоліки «PHEV»: першим з яких є суттєво вища цінова політика, збільшена вага АТЗ й зменшені обсяги салону та багажного відділення за рахунок розміщення габаритних САБ [4, 5, 6].

Останнім часом почали з'являтися й інші варіанти АТЗ із ГСУ, наприклад схеми групи «REEV» («Range Extended Electric Vehicle») або в іншій варіації «REX» («Range Extender»). Конструктивно такі АТЗ де факто є електромобілями, але оснащеними двотактним бензиновим ДВЗ малого літражу й потужності (в більшості від мотоциклів). Їх ДВЗ не надає можливості механічно обертати колеса автомобіля, натомість на більшості режимів приводить в дію електрогенератор, який забезпечує енергією АКБ або живлення електричних приладів автомобіля. У разі, коли заряд САБ електромобіля буде вичерпаний – робота «Range Extender» буде переключена на них й забезпечить певне збільшення запасу ходу АТЗ у аварійному (із малими швидкостями) режимі руху [7].

У таблиці А1 додатку А представлено порівняльний аналіз АТЗ із ГСУ за їх основними технічними характеристиками: запасом ходу (пробігу), часом повної зарядки САБ від загальної побутової мережі 220V, величиною загальної потужності й еквівалентом економії палива, а у таблиці А2 – за показниками їх мінімальної вартості [9].

2.2 Переваги та недоліки гібридних силових установок АТЗ

АТЗ із ГСУ володіють відмінним поєднанням традиційних й інноваційних

технологій, що дозволяє знизити загальну витрату палива та рівень викидів токсичних речовин у ВГ й мають інші переваги перед автомобілями із ДВЗ та навіть електромобілями, які представлені на рис. 2.5 [10, 11, 12, 14, 15].

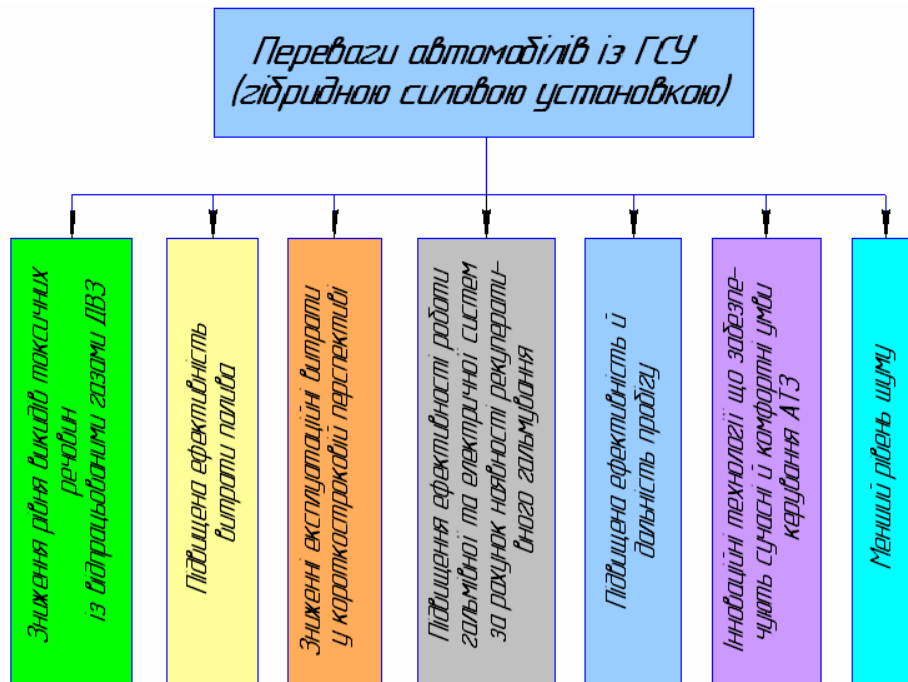


Рисунок 2.5 – Основні переваги АТЗ із ГСУ

Разом з тим, експлуатація цих АТЗ виявила й притаманні їм недоліки, які суттєво впливають на рівень їх ефективності й знижують привабливість щодо їх придбання. Аналіз літературних джерел дозволив згрупувати їх певні групи (рис. 2.6.) [10, 11, 12, 14, 15].

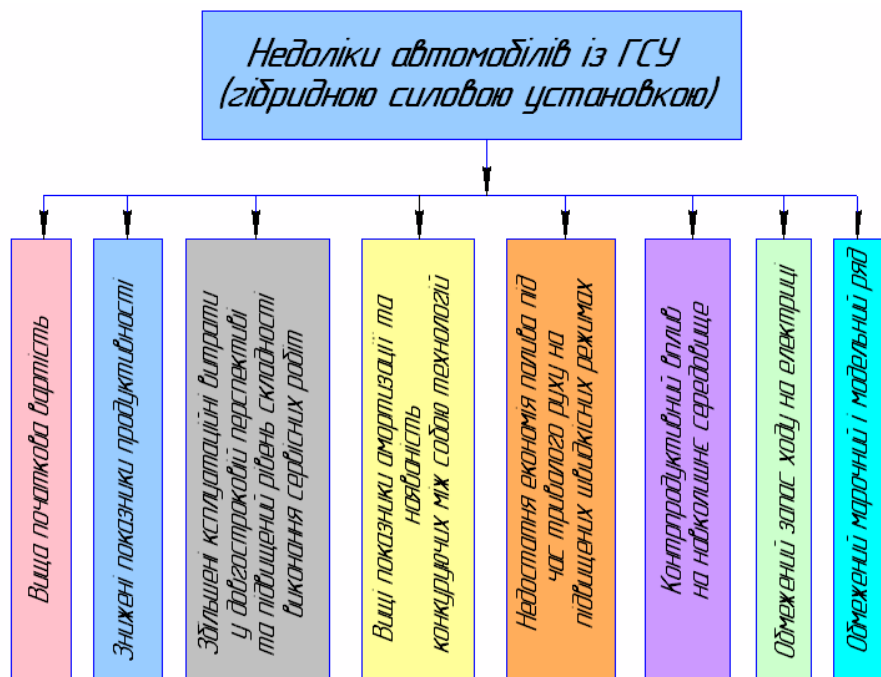


Рисунок 2.6 – Основні недоліки АТЗ із ГСУ

2.3 Аналіз поточного стану та динаміки зміни ринку АТЗ категорії М1 із гібридними силовими установками в Україні

За даними «AUTO-Consulting», на поточний час в нашій країні спостерігаються значні зміни у сегменті АТЗ із ГСУ. Так, за підсумками І-го кварталу 2023 р. відмічається зростання попиту серед покупців АТЗ на придбання електромобілів та автомобілів із ГСУ (рис. 2.7) навіть не дивлячись на потенційні загрози відсутності електричної енергії через перебої у роботі енергетичної інфраструктури держави обумовлені регулярними обстрілами з боку росії [15]. Причиною цього є привабливість технологій, що реалізуються в конструкціях даних автомобілів, підвищені динамічні характеристики й перспективи отримання економічної вигоди вже у короткостроковій перспективі. Не в останню чергу це відбувається й через доволі високі вартісні показники традиційних нафтових палив на АЗС.



Рисунок 2.7 – Динаміка реєстраційних дій із постановки на облік різних груп АТЗ (нових, таких що вже були у використанні за межами України та таких, та повторно перереєстрованих на Україні) із ГСУ на початку 2023 р. [15]

Дані аналізу свідчать, що фактично більше як 7% покупців нових АТЗ віддають перевагу саме автомобілям із ГСУ - здатних пересуватися на обох видах палива, вважаючи їх розумною альтернативою автомобілям із традиційними ДВЗ. Характеризуючи динаміку збільшення обсягів обліку АТЗ у органах Національної поліції, лише за першу чверть поточного року громадяни України придбали на більш як на 50% більше нових АТЗ із ГСУ, ніж за аналогічний період минулого року – 2087 од. проти 1393 од. Звісно, порівнювати рівень продажів «гібридних»

АТЗ із ростом популярності електромобілів неможна, тим не менш популярність автомобілів даного сегменту стрімко зростає [15].

Станом на 01.04.2023 р. загальноукраїнський автопарк електромобілів налічував 67923 од. автомобілів, у порівнянні із минулорічними показниками, які становили 50733 електромобіля. Оцінюючи динаміку приросту електромобілів можна відмітити, що вона у 2 рази вища за приріст АТЗ із ГСУ – 11,0% у порівнянні із 4,9%. Отже, у разі якщо такі темпи приросту залишаться, то кількість зареєстрованих в Україні електромобілів перевищить парк АТЗ із ГСУ менш ніж за п'ять наступних років, тобто до 2028 р. (рис. 2.8) [15].

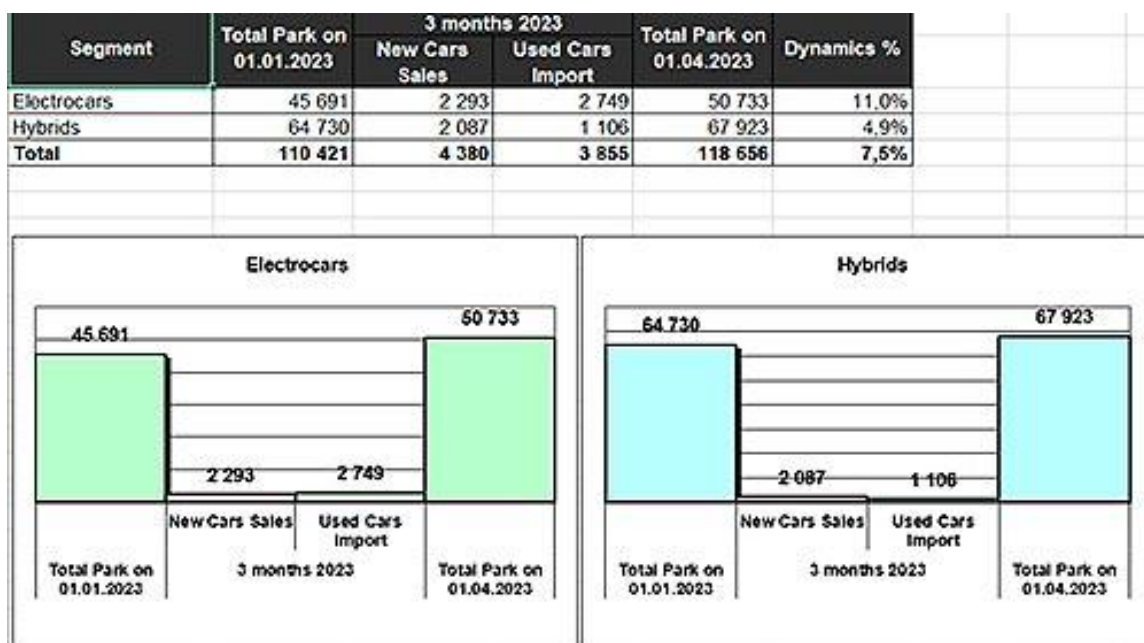


Рисунок 2.8 – Порівняльна динаміка зміни кількості АТЗ із електричними силовими установками (ЕСУ) та ГСУ в Україні

Характеризуючи марочний та модельний склад АТЗ із ГСУ, можна відмітити, що «явним лідером лишається компанія «Toyota» (826 реалізований автомобілів) із преміальною моделлю «Lexus» (140 од.). В загальній сукупності за чотири перші місяці року дана компанія реалізувала в Україні понад 1 тис. нових легкових АТЗ. Найбільшим попитом користувалися такі моделі як «Toyota RAV4» (242 од.) та «Camry» (207 од.), дещо нижчі показників продажів у кросоверів «Corolla Cross» (132 од.) й класичних хетчбеків «Prius» (136 од.), «Yaris Cross» (127 од.) та «C-HR» (99 од.). Серед моделей підрозділу «Lexus» найбільшою популярністю користуються кросовер «NX» (66 од.) та гібридний седан «ES» (54 од.) [15]». «Але якщо кількість гібридних АТЗ марки «Lexus» за цей період зросла

на 36%, то нових гібридів бренду «Toyota» за перші 3 місяці 2023 р. реалізували на 2 од. менше (1086 од.) (рис. 2.9). Враховуючи значне зростання «електрогібридного» сегменту АТЗ, японські виробники автомобілів категорії М1 втратили значну його частку [15]».

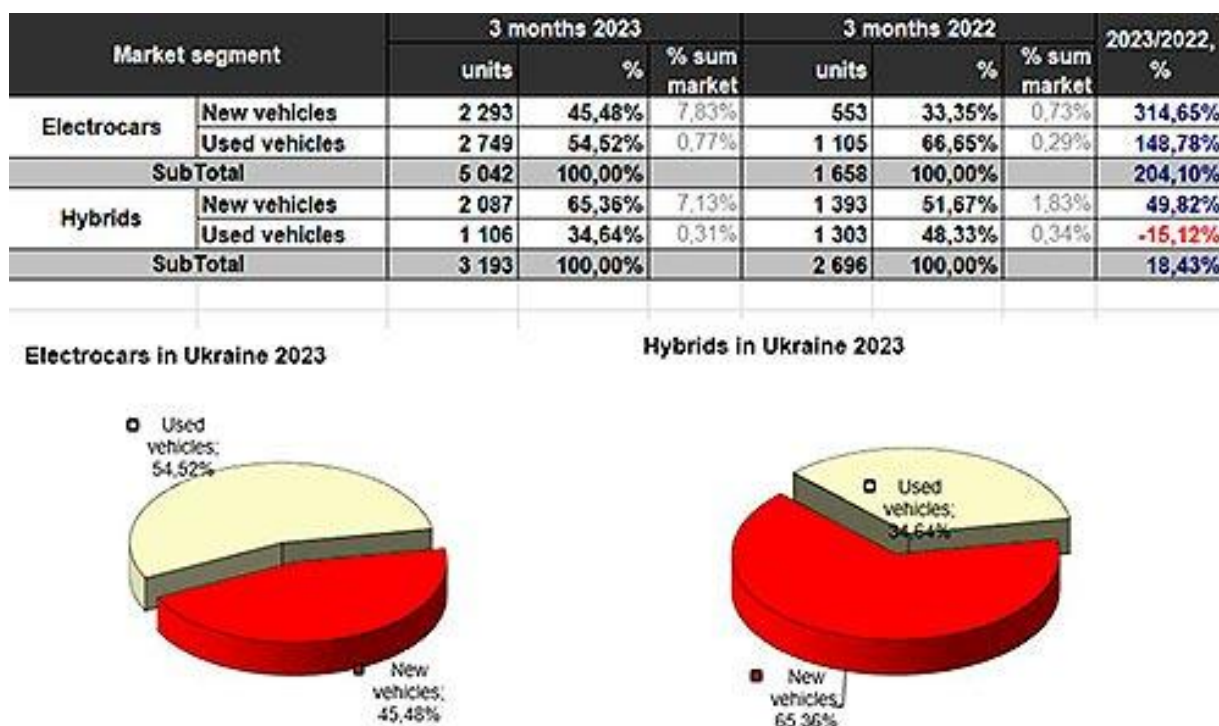


Рисунок 2.9 – Динаміка зміни чисельності АТЗ із ГСУ (нових та виживаних) в Україні за 2022-2023 роки

Спостерігається суттєве підвищення попиту серед потенційних покупців у АТЗ із ГСУ японського автовиробника компанії «Nissan», яка забезпечує сталу динаміку реалізації власних автомобілів із середньомісячними показниками понад 50 од. Але при цьому доцільно відмітити, що всі продажі припадають лише на одну нову модель компанії – «гібридний» «Qashqai» (143 од) [15].

Інший, не менш потужний японський виробник автокомпанія «Honda» значно відстає в цьому напрямку із зменшеними обсягами продажів на 28% (111 од.) за 3 перших місяці, не зважаючи на присутність АТЗ із ГСУ у декількох класах: міського автомобіля «Jazz e: HEV» та кросовера «CR-V e: HEV». Змінити ситуацію, що склалася повинен інший представник цієї компанії – нова модель «HR-V e: HEV», надходження якої очікується впродовж цього року. Все вищесказане стосувалося офіційних представників компаній - дилерів в нашій країні, Натомість значну кількість АТЗ зі ГСУ завозять й неофіційні дилери, які реалізують АТЗ американського виробництва моделей «Accord» (22 од.) та доволі

перспективну модель «Clarity» (34 од) [15]. Загальна динаміка зміни обсягів реалізації й реєстрації АТЗ із ЕСУ та ГСУ в Україні за 2022-2023 рр. в контексті основних авто компаній представлена у таблиці 2.2 [15].

Таблиця 2.2 - Динаміка зміни обсягів реалізації й реєстрації АТЗ провідних світових автовиробників із ЕСУ та ГСУ в Україні за 2022-2023 рр.

Electrocars & Hybrids market structure in Ukraine in 2023 3 months						
		8235		4354		89,14%
New + Used vehicles						
Type	Brand	3 months 2023		3 months 2022		2023/2022,
		▼units▼	%	units▼	%	%
Electro	VOLKSWAGEN	1250	15,18%	208	4,78%	500,96%
Hybrid	TOYOTA	1086	13,19%	1088	24,99%	-0,18%
Electro	TESLA	962	11,68%	273	6,27%	252,38%
Electro	NISSAN	715	8,68%	393	9,03%	81,93%
Electro	HONDA	573	6,96%	1	0,02%	57200,00%
Hybrid	MERCEDES-BENZ	341	4,14%	150	3,45%	127,33%
Hybrid	FORD	272	3,30%	296	6,80%	-8,11%
Electro	RENAULT	222	2,70%	110	2,53%	101,82%
Hybrid	LEXUS	208	2,53%	153	3,51%	35,95%
Hybrid	LAND ROVER	192	2,33%	113	2,60%	69,91%
Hybrid	VOLVO	171	2,08%	102	2,34%	67,65%
Electro	MERCEDES-BENZ	154	1,87%	39	0,90%	294,87%
Hybrid	NISSAN	149	1,81%	4	0,09%	3625,00%
Electro	CHEVROLET	139	1,69%	73	1,68%	90,41%
Electro	HYUNDAI	130	1,58%	89	2,04%	46,07%
Hybrid	HYUNDAI	122	1,48%	118	2,71%	3,39%
Hybrid	BMW	121	1,47%	34	0,78%	255,88%
Hybrid	CHEVROLET	115	1,40%	65	1,49%	76,92%
Hybrid	AUDI	112	1,36%	236	5,42%	-52,54%
Hybrid	HONDA	111	1,35%	154	3,54%	-27,92%
Electro	BMW	110	1,34%	69	1,58%	59,42%
Electro	BYD	107	1,30%	12	0,28%	791,67%
Electro	AUDI	97	1,18%	72	1,65%	34,72%
Electro	KIA	60	0,73%	25	0,57%	140,00%
Hybrid	KIA	50	0,61%	72	1,65%	-30,56%
Electro	DONG FENG	47	0,57%	93	2,14%	-49,46%
Electro	FORD	44	0,53%	10	0,23%	340,00%
Electro	MITSUBISHI	32	0,39%	8	0,18%	300,00%
Electro	PEUGEOT	32	0,39%	11	0,25%	190,91%
Electro	WELTMEISTER	32	0,39%	9	0,21%	255,56%
Electro	TOYOTA	31	0,38%	8	0,18%	287,50%
Electro	JAGUAR	26	0,32%	17	0,39%	52,94%

Аналізуючи представлену у таблиці 2.2 інформацію можна відмітити існуючий стабільний попит на АТЗ із ГСУ у преміальному сегменті автомобілів, де різниця між моделям, що оснащені бензиновими або дизельними ДВЗ не така помітна, як у середньому класі. Так, у спостерігається збільшення фактично у 3

рази обсягів реалізації «гібридних» АТЗ марки «Range Rover» (з 36 од. до 115 од.), моделі «Mercedes-Benz GLE» від компанії «Mercedes» (з 70 од. до 217 од.). та нової моделі «X7» німецької компанії «BMW» (57 од.) [15].

Підсумовуючи динаміку зростання чисельності парку АТЗ із ГСУ в нашій країні можна бачити, що популярність даного сегменту автомобілів зростає й надалі буду зростати. Провідні авто концерни продовжують власні дослідження й пропонують нові рішення. Так, наприклад, японський виробник «Toyota» анонсував у найближчому часі появу групи АТЗ із ГСУ, здатних на одному заряді САБ із використанням лише електричної складової ГСУ подолати понад 200,0 км. Не слід відкидати й китайських автовиробників, які вже мають власні сучасні конструкції «гібридних» автомобілів та забезпечені всіма необхідними виробничими потужностями й можливостями їх виготовлення, включаючи й виробництво власних САБ підвищеної ємності й ресурсу.

Загальна чисельність парку АТЗ із ГСУ в Україні в розрізі динаміки її зміни за 2022-2023 роки за основними виробниками представлена у таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 – Динаміка зміни кількості АТЗ із ГСУ основних автокомпаній в Україні за 2022-2023 роки за

Hybrids					
Brand	Total Park on 01.01.2023	3 months 2023		Total Park on 01.04.2023	Dynamics %
		New Cars Sales	Used Cars Import		
TOYOTA	29081	826	260	30 167	3,7%
LEXUS	6687	140	68	6 895	3,1%
FORD	5443		272	5 715	5,0%
CHEVROLET	3854		115	3 969	3,0%
HONDA	3065	19	92	3 176	3,6%
AUDI	2971	67	45	3 083	3,8%
VOLVO	2190	163	8	2 361	7,8%
HYUNDAI	2181	75	47	2 303	5,6%
MERCEDES-BENZ	1818	335	6	2 159	18,8%
KIA	1761		50	1 811	2,8%
LAND ROVER	1171	191	1	1 363	16,4%
BMW	915	79	42	1 036	13,2%
MITSUBISHI	957		16	973	1,7%
LINCOLN	482		18	500	3,7%
PORSCHE	389	13	6	408	4,9%
VOLKSWAGEN	334		16	350	4,8%
INFINITI	321		7	328	2,2%
SUZUKI	257	25		282	9,7%
NISSAN	100	145	4	249	149,0%

За даними Інституту дослідження авторинку України за підсумками першого півріччя вже 2024 р. автомобілі категорії М1 із ГСУ зайняли 17,4% ринку нових АТЗ, й доволі незначні 1,9% вторинного ринку автомобілів даної категорії (рис. 2.10) [16]. Якщо оцінювати лише нові реєстрації АТЗ із ГСУ то у відносному виразі це у 2,54 рази менше ніж зареєстрованих АТЗ із бензиновими ДВЗ, у 1,5 рази менше ніж із дизельними ДВЗ, але більше як у 1,15 рази ніж автомобілів із ЕСУ.

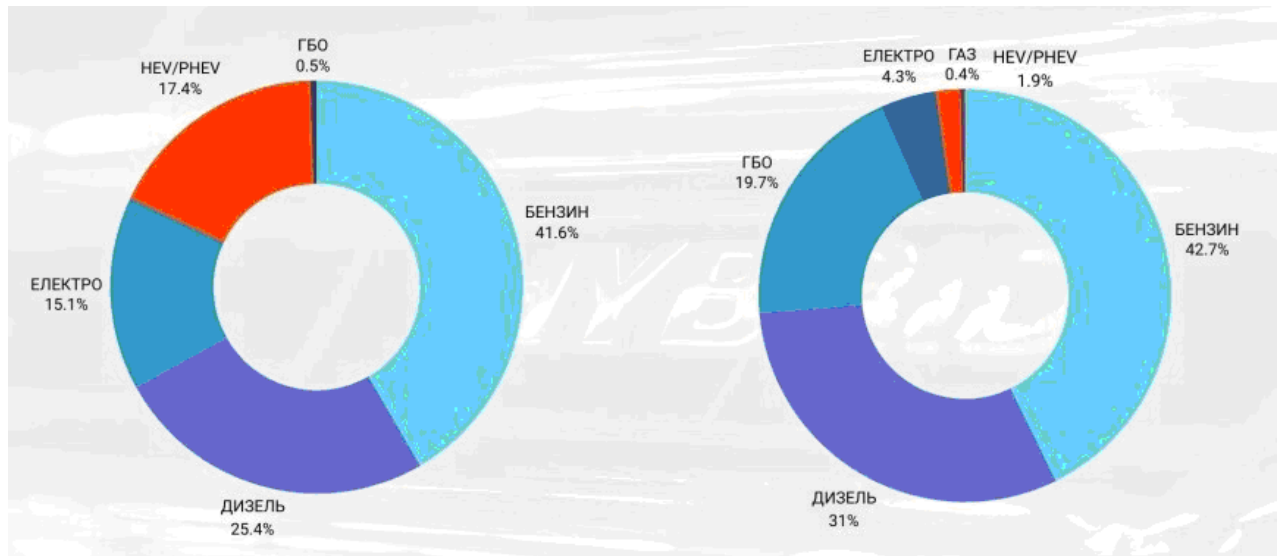


Рисунок 2.10 – Динаміка формування ринку нових та вживаних АТЗ із ГСУ у І-му півріччі 2024 р.

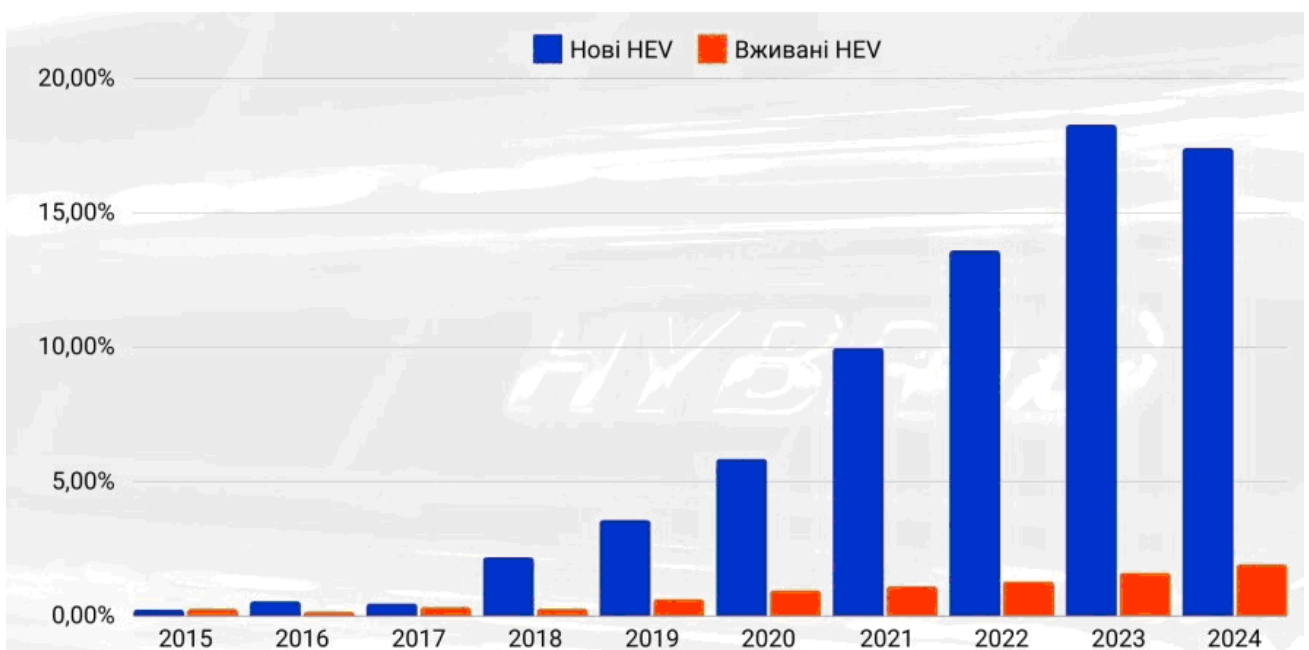


Рисунок 2.11 – Динаміка зміни питомої кількості АТЗ із ГСУ за 2015-2024 рр.

На ринку вживаних автомобілів із ГСУ, який визначається рівнями їх перепродажів й повторних реєстраційних дій, ситуація виглядає набагато гіршою (див. рис. 2.10) - частка таких легковиків автомобілів складає лише 2%, що є

свідченням наявності у покупців значних обмежуючих факторів, які стримують їх від придбання таких АТЗ. Серед більш явних причин такої ситуації можна вважати побоювання пов'язані із можливими підвищеними витратами на проведення вже необхідних ремонтів й вартісної заміни САБ.

Коментуючи динаміку зміни сегменту нових АТЗ із ГСУ можна відмітити стабільне зростання частки таких автомобілів (рис. 2.11). Так, якщо порівнювати 2024 р. та 2015 р. то ця частка зросла у майже 18 разів, а за період останніх 3-ох років – збільшилася у 1,34 рази, хоча насправді це дещо суперечить світовим трендам, так як більшість автовиробників вже починають відмовлятися від гібридних технологій, віддаючи перевагу автомобілям із ЕСУ та залишаючи у виробництві традиційно популярні моделі оснащені класичними ДВЗ [16].

Оцінюючи вподобання власників легкових автомобілів в контексті марок й моделей АТЗ із ГСУ, що на зараз доступні на первинному й вторинному авторинках України (рис. 2.12) можна бачити, що у обох частинах авторинку, лідером, як й у 2023 р. є компанія «Toyota» займаючи 45% ринку нових та 32% ринку вживаних автомобілів. Понад 10% нових «гібридних» АТЗ займає лише ще один автовиробник – компанія «Nissan», натомість як на вторинному ринку цю позицію має компанія «Ford Motor Co» (14,2%). Частки інших автовиробників є набагато меншими й тримаються в інтервалі 2%...7%.

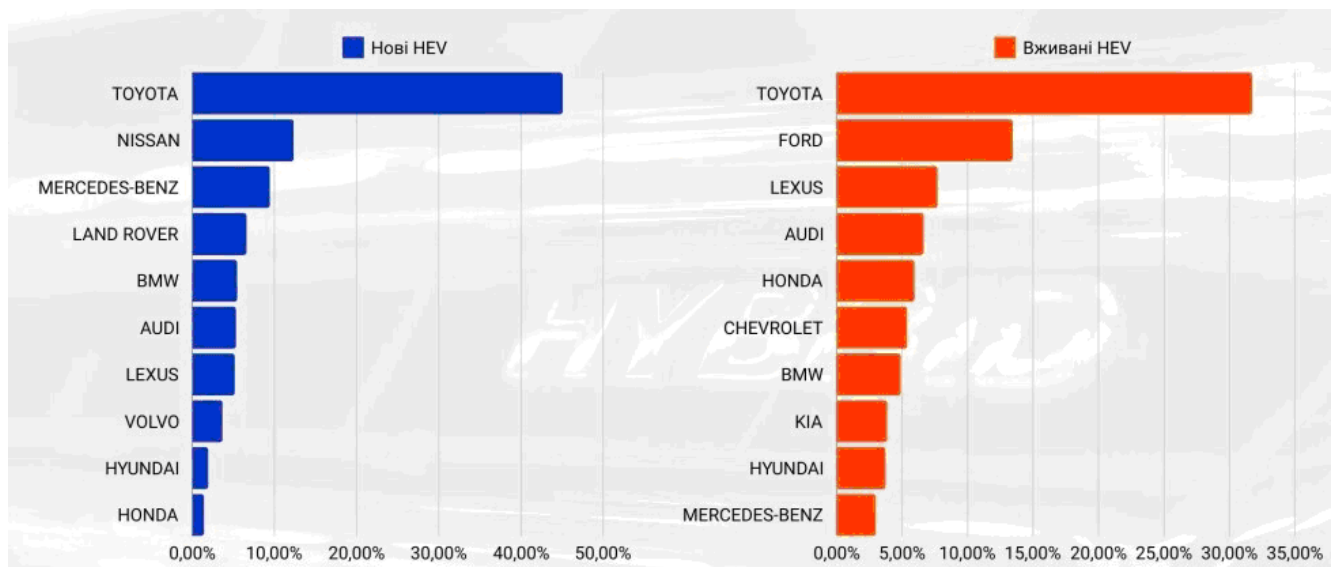


Рисунок 2.12 – Частки виробників АТЗ із ГСУ у сегментах нових та вживаних АТЗ із ГСУ (станом на червень 2024 р.)

Можна передбачити, що у разі виходу компанії «Toyota» з ринку гібридних автомобілів й припинення їх випуску, залишкова частка всіх інших АТЗ із ГСУ стала б настільки малою, що доцільності виділення цих автомобілів у окремий сегмент загалом би не існувало.

Характеристики та оціночні кількісні показники двох сегментів АТЗ із ГСУ України різних марок і моделей представлені на рис. 2.13.



Рисунок 2.13 - Кількість моделей АТЗ із ГСУ у сегментах

Коментуючи представлені на рис. 2.12 дані можна сказати, що наближена кількість всіх доступних для придбання на поточний час в Україні моделей АТЗ станом на перше півріччя 2024 р. становить близько 480 варіантів, з яких оснащені ГСУ – 120 моделей. Аналогічні показники вторинного ринку виявили серед 2000 існуючих пропозицій моделей легкових АТЗ, лише 230 автомобілів із «гібридними» силовими установками. При цьому варто відзначити, що кількісна присутність не завжди відповідає якісній; окремі моделі АТЗ можуть налічувати декілька наявних автомобілів (без врахування їх технічного стану та цінової політики). Отже, фактичний вибір АТЗ із ГСУ в Україні особливо у сегменті вживаних автомобілів із пробігами є доволі складним.

Основними причинами такої ситуації можна вважати:

1. Створення ГСУ групи «HEV» й наступної більш складної «PHEV» не змогло забезпечити відсутність в їх конструкціях «слабких сторін» й недоліків.

2. Високі вартісні показники нових АТЗ із ГСУ не здатні забезпечити навіть на тривалих експлуатаційних періодах економію коштів їх власникам, за рахунок зменшення рівня витрат на нафтове паливо, враховуючи поточний рівень цін на електроенергію. Так, наприклад вартість автомобіля «Toyota RAV4» із бензиновим ДВЗ становить від 30 тис. дол. США, а за модель цього автомобіля із «HEV» ГСУ доплата складе +5,5 тис. дол. Якщо ці цифри співвіднести до вартості палива, то це складе додаткових понад 4,0 тис. л бензину марки А-95. Приймаючи величину середньостатистичного річного пробігу АТЗ у 15,0 тис. км на рік та середньому рівні споживання палива ДВЗ у 10,0 л/100 км пробігу, переплачених грошових коштів вистачить власнику АТЗ і з бензинових ДВЗ в середньому на 2,7 роки. Якщо же оцінювати економічність ГСУ, то можна прийняти у 2 рази менший рівень витрати нафтового палива - приблизно 5,0 л/100 км пробігу. В такому разі, дійсний час окупності додаткової ціни АТЗ зростає відповідно також у 2 рази й складає понад 5 років експлуатації. Дані розрахунки не включаються додаткові експлуатаційні витрати пов'язані із різними обсягами та цінами виконання сервісних й ремонтних дій, проте й за ними можна визначити, що коли попередній економічний ефект від використання АТЗ із ГСУ не є значним.

3. Низьку купівельну спроможність населення. На рис. 2.13 представлені цінові діапазони вартості АТЗ із ГСУ на вторинному ринку, які показують, що пропозиції за такими автомобілями починаються із 9,0 тис. дол. США й вище.

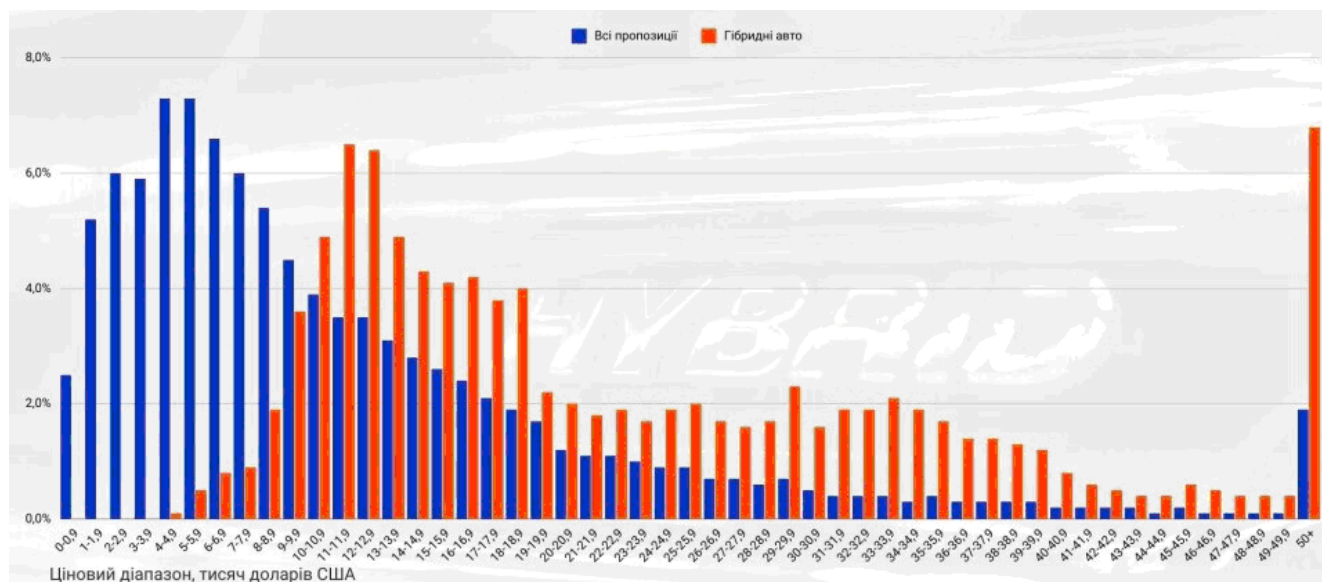


Рисунок 2.13 – Цінові пропозиції АТЗ із ГСУ на вторинному ринку України

До інших причин повільного розвитку АТЗ із ГСУ та ЕСУ в Україні можна віднести:

- відсутність орієнтації АЗС та автосервісних підприємств відповідно на забезпечення ефективної експлуатації та обслуговування автомобілів із ГСУ, ЕСУ та САБ;

- незадовільний стан покриття доріг, обмежений запас руху на одному заряді САБ робить АТЗ із ГСУ в сучасних умовах нашої країни в більшості ТЗ для пересування у міських умовах та режимах;

- несприятливу політичну та міграційну ситуацію в країні.

Розділ 3

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ АТЗ ІЗ ГСУ В ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ УМОВАХ

3.1 Визначення основних факторів, що визначають ефективність експлуатації АТЗ із ГСУ

В першу чергу слід відзначити, що до основних експлуатаційних факторів, що впливають на показники ефективності роботи АТЗ із ГСУ та визначають економічну складову транспортного процесу (собівартість) відносяться:

- 1) швидкісний рівень руху АТЗ;
- 2) величина середньодобового пробігу АТЗ;
- 3) ступінь завантаженості АТЗ;
- 4) температурні показники навколишнього середовища;
- 5) циклові параметри руху автомобіля.

Перший етап досліджень передбачав експериментальну оцінку швидкісних діапазонів руху АТЗ із ГСУ в міських умовах м. Кропивницький, що проводився під час переддипломної практики у вересні 2023 р. Обраний режим є найбільш навантаженим для АТЗ із ГСУ, так як характеризується переривчастим їздовим циклом із динамічною зміною швидкісного режиму й наявністю короткотривалих зупинок.

Зібрані результати були піддані статистичній обробці, виконаної у програмному середовищі «Excel» й дозволили встановити діапазон зміни величин середньої швидкості руху АТЗ у міському транспортному потоці, який склав 25...28 км/год, й здійснювався як у центральній частині міста так й його віддаленими районами, із характерною дорожньою мережею. На рис. 3.1. представлено графічне зображення характеру зміни швидкості руху АТЗ із ГСУ, отриманого під час одного з таких дослідів.

Перед проведенням досліджень САБ АТЗ із ГСУ були повністю заряджені, що дозволяло підтримувати встановлений швидкісний діапазон їх руху у їздовому циклі при роботі лише електричного мотору.

Вибір дальності маршрутів проводили виходячи із їх відповідності середньодобовим пробігам АТЗ із ГСУ, визначеним й систематизованим за наданою власниками таких автомобілів інформацією.

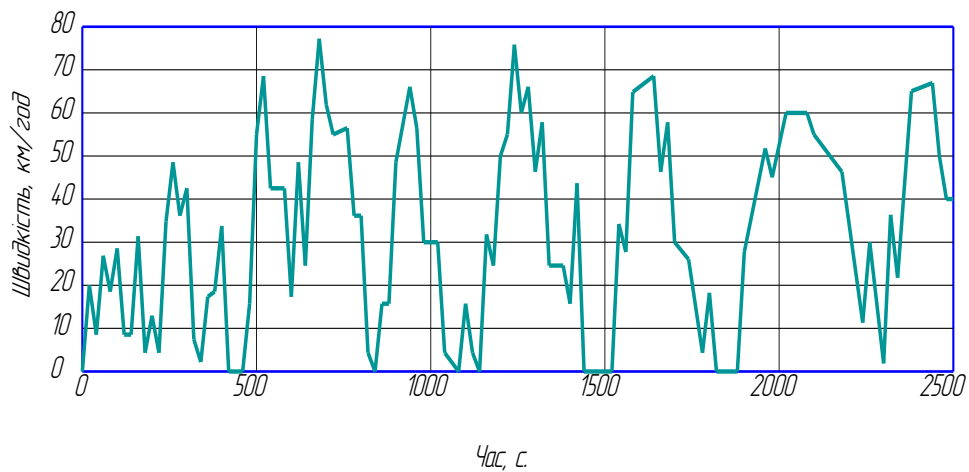


Рисунок 3.1 – Динаміка зміни швидкості руху АТЗ із ГСУ під час його руху на їздовому циклі м. Кропивницький

Інформація була накопичена маркетинговою службою підприємства ПП «Авто-Шанс Центр» (м. Кропивницький) за період 2021-2023 років під час опитування власників АТЗ із ГСУ категорії М1, автомобілі яких обслуговувалися на підприємстві. Результати оціночного аналізу середньодобової дальності пробігів представлені у вигляді гістограми представлені на рис. 3.2), й дозволяють констатувати, що більш часто їх рівень оцінюється 20...60 км пробігу. У відповідності до технічних характеристик найбільш поширених марок й моделей АТЗ із ГСУ (таблиця А2 додатку А) запас ходу на електричній тязі дозволяє їм без підзарядки забезпечити зазначені дальності пробігів в міських умовах, що безумовно є позитивним висновком даного етапу досліджень.

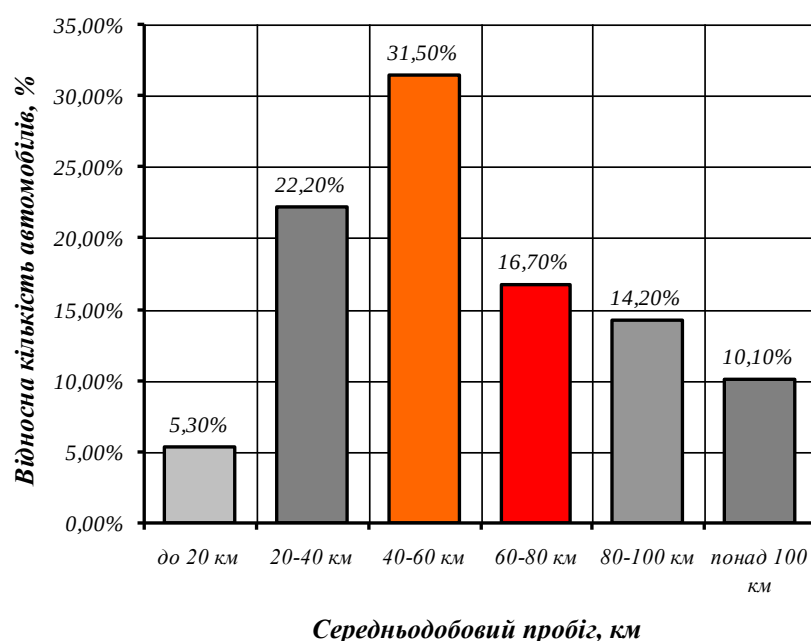


Рисунок 3.2 - Середньодобові пробіги АТЗ із ГСУ в міських експлуатаційних умовах м. Кропивницький

3.2 Оцінка рівня паливної економічності АТЗ із ГСУ у міських експлуатаційних режимах

Основним фактором впливу на рівень паливної економічності АТЗ із ГСУ реалізованою за схемою «PHEV», є під час їх руху як на електричній тязі так й при роботі ДВЗ є два основних фактори: величина добового пробігу й вартість палива (бензину) й електричної енергії.

В режимі руху таких АТЗ із приводом ведучих коліс лише від електромотору, вони споживаються електричний струм, накопичений у САБ під час зарядки від стороннього джерела енергії (як правило побутової електромережі). Натомість як під час роботи ДВЗ використовується традиційне паливо – бензин марки А95. Для проведення оцінки рівня паливної економічності АТЗ із ГСУ необхідною умовою виступає правильна оцінка рівнів витрат обох складових - як витрати палива, так й витрати електроенергії.

Існуюча стандартизована методика оцінка рівня паливної економічності АТЗ із ГСУ, враховуючи незначні технічно визначені виробниками пробіги цих автомобілів виключно на електричній складовій ГСУ, нажаль не передбачає проведення вимірів економічності в цьому режимі й зобов'язує досліджувати два інших режими - режим руху лише при роботі ДВЗ та «гібридний» режим при якому працюють обидва двигуни ГСУ (рекомендації Правил ЄЕК ООН № 83-05:2005), що не можна вважати коректним.. В якості пояснення такої позиції можна сказати про те, що застосування стандартизованої методики дійсно було актуальним для перших варіантів АТЗ із ГСУ, які забезпечували дальність пробігів в режимі руху від електромоторів лише до 15 км. Сучасні «гібридні» легкові АТЗ мають здатність долати набагато більші відстані, так як мають більш ємкі САБ й більш економні електромотори. Саме тому актуальною є задача удосконалення існуючого методу дослідження рівня паливної економічності автомобілів із ГСУ, що враховує характер їх руху у змінних режимах.

При цьому, величини експлуатаційних витрат для АТЗ із ГСУ потрібно обчислювати двома складниками цього процесу - вартістю експлуатації даних автомобілів в режимі руху, що забезпечуються електромотором та при роботі бензинового ДВЗ. Перший складник витрат визначимо як:

$$C_{\text{електр}} = W_{\text{електр}} \cdot \frac{C_{\text{кВт}} \cdot 10^4}{\eta}, \quad (3.1)$$

де $W_{\text{електр}}$ - витрата електричної енергії при русі АТЗ із ГСУ на відстані 1,0 км дистанцій, кВт-год/км.;

$C_{\text{кВт}}$ - поточний тариф на електроенергію у розрахунку на одну витрачену кВт-год.;

η - ККД вбудованого (або зовнішнього) зарядного пристрою ($\eta = 85...92\%$).

Перерахунок вартості експлуатації АТЗ із ГСУ під час його руху у режимі роботи електромотору визначену залежністю (3.1), виконуємо шляхом її перерахування у еквівалентну витрату традиційного палива (бензину або дизеля) визначену у л/100 км:

$$Q_{\text{електр}} = \frac{W_{\text{електр}}}{C_{\text{палива}}} \cdot \frac{C_{\text{кВт}} \cdot 10^4}{\eta}, \quad (3.2)$$

де $C_{\text{палива}}$ - вартість палива на якому працює ДВЗ, грн/л.

Витрату традиційного палива (бензину або дизеля) під час руху АТЗ в режимі одночасної роботи як ДВЗ так й електромотору визначаємо з розрахунку на 100 км пробігу залежністю:

$$C_{\text{гібрид}} = Q_{\text{гібрид}} \cdot C_{\text{палива}}, \quad (3.3)$$

де $Q_{\text{гібрид}}$ - витрата палива АТЗ в режимі руху із роботою обох двигунів ГСУ, л/100 км.

Оцінка рівнів витрат палива для АТЗ із ГСУ різних виробників та моделей в міських умовах їх руху була виконана для двох найбільш поширених представників цієї групи автомобілів – «Toyota Prius PHV» та «Chevrolet Volt», які конструктивно мали однакову конфігурацію ГСУ («PHEV»). В якості об'єкту порівняння був застосований легковий автомобіль даного класу оснащений ДВЗ – «Volkswagen Golf VII», який працював на бензині. Порівняльні технічні характеристики всіх 3-ох тестових АТЗ наведені у таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 - Основні технічні характеристики легкових АТЗ із ГСУ та базового автомобіля (із ДВЗ) у міському експлуатаційному циклі руху

Основні технічні та експлуатаційні характеристики АТЗ		Марка й модель АТЗ		
		«Toyota Prius PHV»	«Chevrolet Volt»	«VW Golf VII»
САБ	ємкість, А·год.	15	44	-
	енергоємність, кВт·год.	4,4	16	-
	маса, кг	80	198	-
	напруга, В	345,6	360	-
Потужність електромотору, кВт		60	111	-
ДВЗ	потужність, кВт (к.с.)	73 (98)	63 (86)	103 (140)
	таксимальні оберти, об./хв	5200	4800	6000
	об'єм, л	1,8	1,4	1,4
Дальність пробігу АТЗ при роботі електромотору, км		26,4	60	-
Максимальна швидкість АТЗ при роботі електромотору, км/год.		70	160	-
Вміст CO ₂ у відпрацьованих газах ДВЗ, г/км		49	60	116
Рівень середньої витрати палива, л/100 км		2,6	5,0	5,2

Для визначення адекватних результатів на першому етапі були зафіксовані ціни на різні види палива в Україні – бензин й електроенергію (станом на листопад 2024 р.). Прийнята вартість бензину марки А95 «Євро» на АЗС компанії «Окко» становила $C_{палива} = 57,99 \text{ грн} / \text{л}$, натомість як вартість 1,0 кВт спожитої електроенергії для побутових споживачів оцінювалася у $C_{кВт} = 4,32 \text{ грн} / \text{кВт} \cdot \text{год}$. Результати даного етапу досліджень наведені у таблиці 3.2 та таблиці 3.3

Таблиця 3.2 - Показники паливної економічності АТЗ із ГСУ «Chevrolet Volt» й «Toyota Prius PHV» під час руху, що забезпечується лише електродвигуном

Показники	АТЗ із ГСУ	
	«Toyota Prius PHV»	«Chevrolet Volt»
Витрата електроенергії при пробігу 160,9 км, кВт·год.	23,2	39,0
Витрата електроенергії з розрахунку на 1,0 км, кВт·год.	0,145	0,244
Витрати електроенергії, грн/100 км	11,45	19,25
Перерахунок витрат електроенергії у вартість палива, л/100 км	0,56	0,95
Дальність пробігу на електричній тязі, км	23,5	54,5

Результати наведених у таблицях 3.2 та 3.3 даних досліджень виявили значні економічні переваги при експлуатації АТЗ із ГСУ під час руху лише в режимі роботи електромотору для України. Дослідження показали, що

еквівалентні витрати АТЗ із ГСУ під час руху в режимі роботи тільки електромотору для автомобіля «Chevrolet Volt» у 7,9 рази а для автомобіля «Toyota Prius PHV» у 8,8 рази є більш економічно вигідними, ніж їх рух у режимі роботи обох типів двигунів ГС. Експлуатаційні витрати автомобіля «Volkswagen Golf» порівняні із витратами під час експлуатації «гібридного» автомобіля «Toyota Prius PHV» й на 30...40% є нижчими за витрати автомобіля «Chevrolet Volt» під час їх руху забезпеченому роботою обох двигунів ГСУ.

Таблиця 3.3 - Показники витрати палива АТЗ із ГСУ «Chevrolet Volt» та «Toyota Prius PHV» під час руху у режимі роботи обох двигунів ГСУ у порівннні із витратами ДВЗ автомобіля «Volkswagen Golf VII»

Основні показники	АТЗ		
	«Toyota Prius PHV»	«Chevrolet Volt»	«Volkswagen Golf VII»
Середня витрата палива, л/100 км	4,98	7,56	5,2
Експлуатаційні витрати, грн/100 км	288,79	438,40	301,55

Рівень паливної економічності АТЗ із ГСУ визначається їх добовим пробігом у режимі роботи лише електромотору. Тому, наступним етапом досліджень виступало проведення розрахунку та оцінки витрат енергоносіїв такими автомобілями як «Chevrolet Volt» й «Toyota Prius PHV» та співвіднесення цих витрат у еквівалентну їм витрату нафтового палива (бензину), що дозволяло виконати адекватну оцінку рівня їх паливної економічності.

Система аналітичних виразів, що описує залежність пройденої АТЗ відстані S , для розрахунку вартості енергоносіїв під час експлуатації АЗС із ГСУ визначеної у розмінностях (грн/км) має вигляд:

$$\left\{ \begin{array}{l} C_{\text{електр}} = W_{\text{електр}} \cdot \frac{C_{\text{кВт}}}{\eta} \cdot 100\%, S \leq S_{\text{електр}} \\ C_{\text{гібр}} = \frac{Q_{\text{гібр}} \cdot C_{\text{палива}}}{100}, S \geq S_{\text{електр}} \\ C_{\text{ЕкснГіб}} = C_{\text{електр}} + C_{\text{гібр}}, S = S_{\text{електр}} + S_{\text{гібр}} \end{array} \right. \quad (3.4)$$

де S - загальний пробіг АТЗ із ГСУ, км;

$S_{\text{електр}}$ - пробіг АТЗ із ГСУ при роботі лише телектромотору, км;

$S_{\text{гібр}}$ - пробіг АТЗ із ГСУ в режимі роботи обох двигунів ГСУ, км.

Аналіз паливної економічності АТЗ із ГСУ визначається співвідношенням загальної вартість енергоносіїв до величини добового пробігу, яка у загальному випадку може складати будь-яку дистанцію й оцінюється у (грн/км) за виразом:

$$C_{\text{добова} / \text{км}} = \frac{C_{\text{ЕкспГіб}}}{S_{\text{доб}}}, \quad (3.5)$$

де $C_{\text{добова} / \text{км}}$ - вартість 1 км дистанції пробігу АТЗ, грн/км.;

$S_{\text{доб}}$ - добовий пробіг АТЗ із ГСУ, км.

Величина добового пробігу визначає вартість 1 км пробігу АТЗ із ГСУ із зменшенням дальності добового пробігу витрати на енергоносії скорочуються, натомість для АТЗ із ДВЗ підвищений рівень витрати палива фіксується вже на початкових фазах пробігу. При цьому еквівалентна витрата палива визначена (л/100 км) становить:

$$Q = \frac{C_{\text{ЕксплГіб}} \cdot 100}{C_{\text{палива}} \cdot S_{\text{доб}}}. \quad (3.6)$$

Порівняльні результати обчислення величини еквівалентної витрати палива АТЗ із ГСУ «Chevrolet Volt» й «Toyota Prius PHV» та автомобіля «Volkswagen Golf VII» (із ДВЗ) в залежності від дальності їх добових пробігів представлені на рис. 3.3.

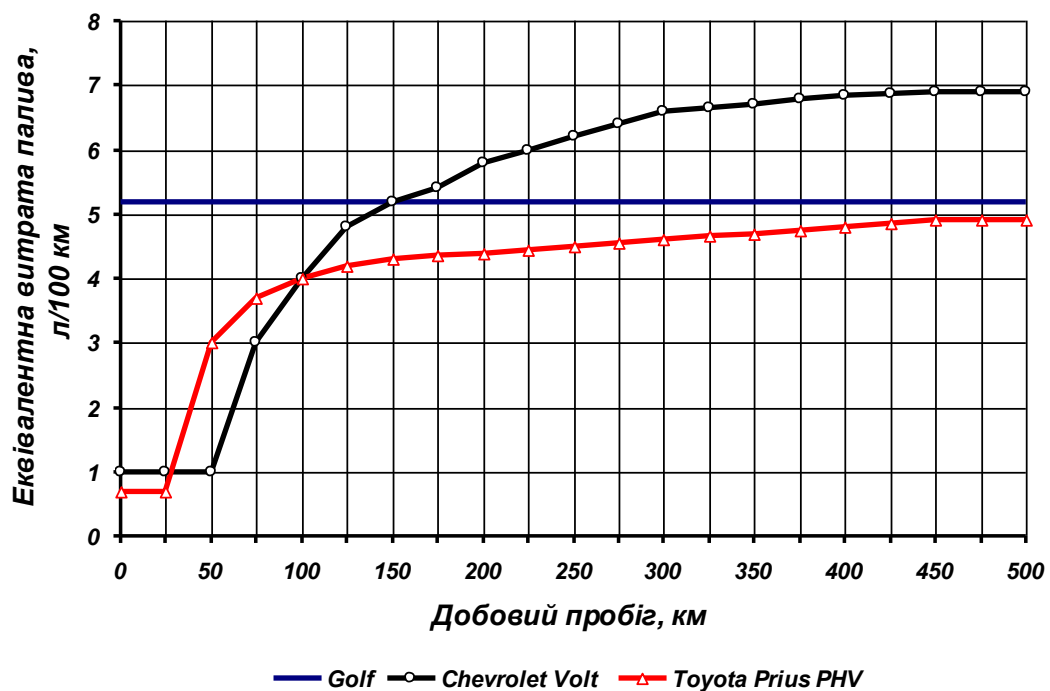


Рисунок 3.3 – Динаміка зміни еквівалентної витрати палива АТЗ в залежності від дальності їх добового пробігу

Аналіз представлених на рис. 3.3 графіків показав, що еквівалентна витрата палива АТЗ із ГСУ у режимі руху тільки при роботі електродвигуна в Україні є меншою, ніж при експлуатації АТЗ із бензиновим ДВЗ фактично у 5,2 рази за умови забезпечення дальності середньодобових пробігів не більше як 30...50 км. Це пов'язано із різницями у вартості електроенергії й бензину. Збільшення добового пробігу підвищує еквівалентні витрати палива й може призвести до перевищення для автомобіля «Chevrolet Volt» рівня витрати палива автомобілем «Volkswagen Golf VII» із бензиновим ДВЗ.

Отримані аналітичні залежності $Q = f(S)$ представлені у графічному вигляді на рис. 3.3, були апроксимовані й у вигляді системи рівнянь для режимів руху АТЗ при роботі лише електродвигуна й режимі роботи обох двигунів ГСУ з у показниках (л/100 км) мають вигляд:

$$\begin{cases} Q = Q_{\min}, S \leq S_{\text{електр}} \\ Q = (Q_{\max} - Q_{\min}) \cdot \left(1 - e^{-\frac{S - S_{\text{електр}}}{S^{\tau}}}\right) + Q_{\min}, S \geq S_{\text{електр}} \end{cases} \quad (3.7)$$

Для автомобіля «Chevrolet Volt» із ГСУ апроксимація залежності еквівалентної витрати палива від добового пробігу має вигляд:

$$\begin{cases} Q = 1,12, S \leq 53,8 \text{ км.} \\ Q = (7,52 - 1,12) \cdot \left(1 - e^{-\frac{S - 53,8}{71,8}}\right) + 1,12, S \geq 53,8 \text{ км.} \end{cases} \quad (3.8)$$

Для автомобіля «Toyota Prius PHV» із ГСУ аналогічні рішення описуються залежностями:

$$\begin{cases} Q = 0,67, S \leq 23,5 \text{ км.} \\ Q = (4,87 - 0,67) \cdot \left(1 - e^{-\frac{S - 23,5}{28,8}}\right) + 0,67, S \geq 23,5 \text{ км.} \end{cases} \quad (3.9)$$

На завершальному етапі до сліджень було визначено зміну обсягів витрат енергоносіїв АТЗ із ГСУ в залежності від рівня їх завантаженості, дальності пробігу, й енергоемності САБ на прикладі автомобіля «Toyota Prius».

Економія палива ДВЗ (бензину) E при використанні ГСУ визначена у (л) складає:

$$E = \frac{S_p \cdot G}{100} \cdot \frac{f}{1+f}, \quad (3.10)$$

де S_p - відстань, яку долає АТЗ із ГСУ за обліковий період (рік), км;

G - витрата палива (бензину) АТЗ із ДВЗ даного класу ТЗ, л/100 км;

$f = \frac{G - G_{зіб}}{G_{зіб}}$ - коефіцієнт паливної економичності;

$G_{зіб}$ - витрата палива АТЗ із ГСУ, л/100 км.

Дані наведені на рис. 3.4 свідчать, що добовий пробіг АТЗ із ГСУ «Toyota Prius» на дистанції до 70,0 км забезпечує економію палива в діапазоні 50...90%.

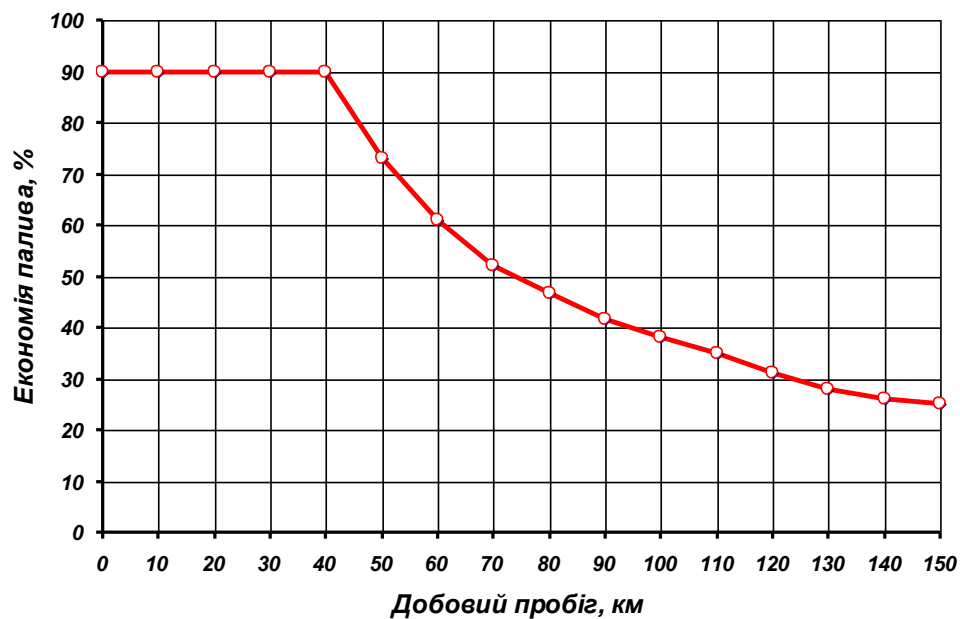


Рисунок 3.4 – Рівень добової економії палива АТЗ із ГСУ «Toyota Prius» при зміні дальності його добового пробігу

При цьому, в розрахунках паливної економичності автомобіля «Toyota Prius» було враховано ємкість його САБ, яка складалася із 20 літій-іонних акумуляторних батарей TS-LFP90АНА (таблиця 3.4).

Таблиця 3.4 - Характеристики акумуляторних батарей TS-LFP90АНА

Характеристика	Показник
Тип	Акумулятор літій-залізо-фосфатний
Ємкість, А·год.	90,0
Струм заряду, А	0,5
Максимальний струм розряду, А	3,0
Діапазон робочої напруги, В	2,5...4,3
Діапазон циклів «заряд-розряд»	3000...5000
Діапазон робочих температур, °С	- 45...+ 85
Вага, кг	3,2

Для визначення дальності пробігу АТЗ із ГСУ в режимі роботи лише електродвигуна було виконано розрахунок питомої енергоємності АКБ «TS-LFP90АНА», що застосовується для конфігурації САБ, Вт-год/кг:

$$E_n = \frac{U_{ел} \cdot Q}{m_{АКБ}}, \quad (3.11)$$

де E_n - питома енергоємність 1-єї АКБ, Вт-год/кг;

$U_{ел}$ - середня напруга АКБ, В;

$m_{АКБ}$ - маса 1-єї АКБ, кг;

$Q = I \cdot t$ - ємність АКБ, А-год.;

I - розрядний струм, А;

t - час розряду, год.

Дальність пробігу АТЗ із ГСУ S_e при роботі лише на електродвигуні визначається залежністю:

$$S_e = \frac{E_n \cdot n \cdot m_{АКБ} \cdot k}{K_e \cdot (m_{ел} + n \cdot m_{АКБ})}, \quad (3.12)$$

де E_n - питома енергоємність АКБ, Вт-год/кг;

n - кількість АКБ, од.;

K_e - питоме споживання енергії в режимі роботи від електродвигуна в різних експлуатаційних режимах, Вт-год/(кг-км) (у відповідності до таблиці 3.5);

$m_{ел}$ - споряджена маса АТЗ, кг;

k - коефіцієнт використання ємності АКБ, що враховує частку енергії, яка може бути реально використана ($k = 0,9$).

Таблиця 3.5 - Питоме споживання енергії АТЗ із ГСУ при зміні режимів його руху

Питоме споживання енергії K_e , Вт-год/(кг-км)	Умови руху АТЗ із ГСУ
0,10...0,15	Легкі умови. Рух АТЗ із постійною швидкістю 20...50 км/год.
0,15...0,20	Середні умови. Нормальний міський рух АТЗ із усталеною швидкістю 50...80 км/год.
0,20...0,25	Складні умови. Більше 10 зупинок впродовж 1,0 км дистанції. Рух АТЗ із усталеною швидкістю понад 80 км/год.

Результати оцінки дальності пробігу АТЗ із ГСУ «Toyota Prius» спорядженою масою 1640,) кг в залежності від експлуатаційних режимів свідчать (рис. 3.5), що рівень завантаженості легкового автомобіля із ГСУ, як й режими його руху в значній мірі впливають на скорочення дальності його пробігів при роботі ГСУ лише від електромотору й у тому числі збільшують у декілька разів рівень витрати палива у режимі руху із одночасною роботою обох двигунів ГСУ.

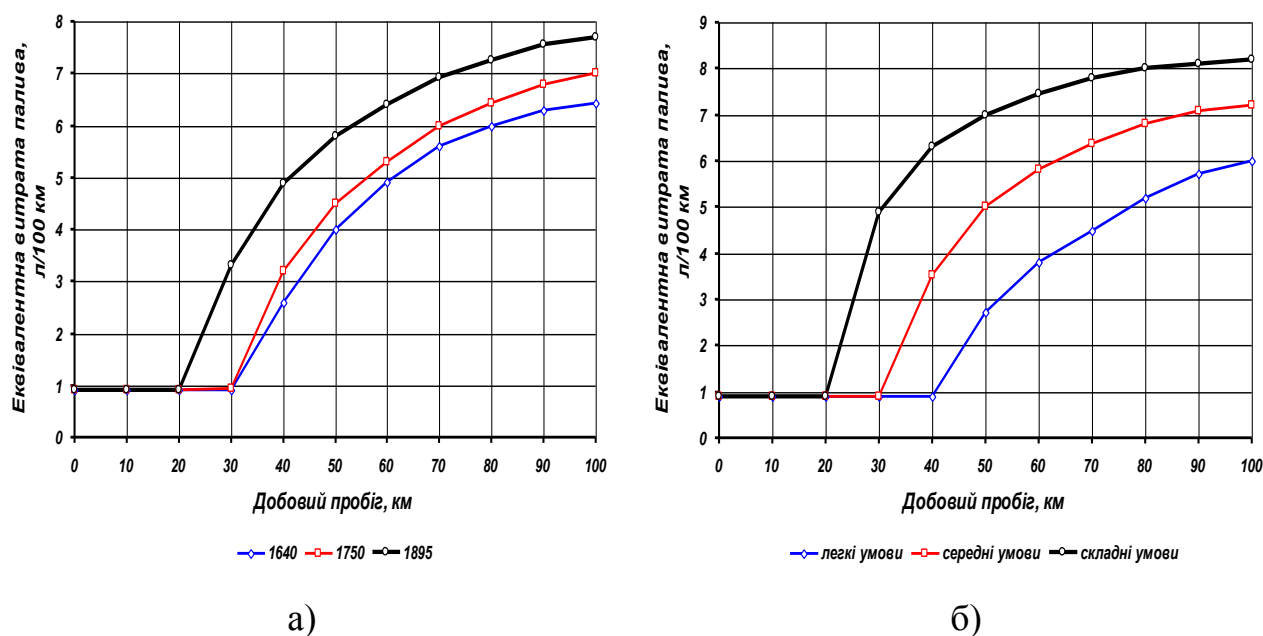


Рисунок 3.5 - Зміна величини еквівалентної витрати палива АТЗ із ГСУ «Toyota Prius» при зміні рівня його завантаженості (а) та режимів руху (б)

На останньому етапі досліджень були встановлені й порівняні величини дальності добових пробігів для АТЗ із ГСУ «Toyota Prius» при роботі лише електромотору від рівня його завантаженості, температури навколишнього середовища й умов руху (таблиця 3.6).

Таблиця 3.6 - Зміна величин добового пробігу АТЗ із ГСУ «Toyota Prius» при роботі лише від електромотору під дією зовнішніх чинників

Споряджена маса АПЗ, кг	Режим витрати енергії, кВт-год/(кг-км)	Температурні показники навколишнього середовища, °C	Добовий пробіг, км	Фактор впливу, %
1640,0...1750,0	0,15	+0,0	31,7...28,3	11,1
1750,0...1895,0			28,5...22,8	20,8
1640,0	0,1...0,14	+0,0	46,1...27,4	33,4
	0,14...0,25		27,3...18,4	40,2
1640,0	0,15	+25,0	27,3...26,8	2,4
		+0...-25	26,8...23,7	13,2

Дані таблиці 3.6 свідчать, що збільшення маси АТЗ із ГСУ «Toyota Prius» із 1640,0 кг до 1750,0 кг зумовлює скорочення дальності пробігу з 31,7 км до 28,3 км, а еквівалентна витрата палива під час добового пробігу відстанню 50,0 км змінюється з 5,2 до 6,3 л/100 км за температури 0°C для середніх експлуатаційних умов. Підвищення рівня складності режимів руху зменшує дальність добового пробігу автомобіля із 46,1 км до 18,1 км при масі 1640,0 кг за температури навколишнього середовища 0°C, натомість як рівень еквівалентної витрати палива навпаки збільшується з 2,6 до 6,8 л/100 км. Добовий же пробіг даного АТЗ у режимі роботи лише від електродвигуна при зниженні температури оточуючого повітря із +25 до 0°C змінюється несуттєво (лише на 2,4%), але вже при подальшому зниженні температурних показників до -25 °C - добовий пробіг АТЗ скорочується на 13,1%.

Розділ 4.

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНОЇ НАДІЙНОСТІ АТЗ ІЗ ГСУ

4.1. Оцінка показників надійності АТЗ із ГСУ

Конструкція АТЗ із ГСУ не суттєво відрізняється від аналогічних легкових автомобілів із традиційними бензиновими або дизельними ДВЗ. До неї лише додається електричний модуль (рис. 4.1), який складається із електромотору-генератора, САБ, інвертору, електронно-керуючого блоку, електричних силових мереж живлення, та різних додаткових механічних пристроїв, що забезпечують передачу крутного моменту на ведучі колеса автомобіля. САБ та інші силові компоненти (пристрої, кабелі тощо) розміщуються у спеціально відведених для цього зонах кузова автомобіля, із розрахунку найменшого впливу на них ударних й теплових навантажень, що можуть виникнути як під час ДТП, так й експлуатаційних умовах із високими температурними показниками навколишнього середовища.

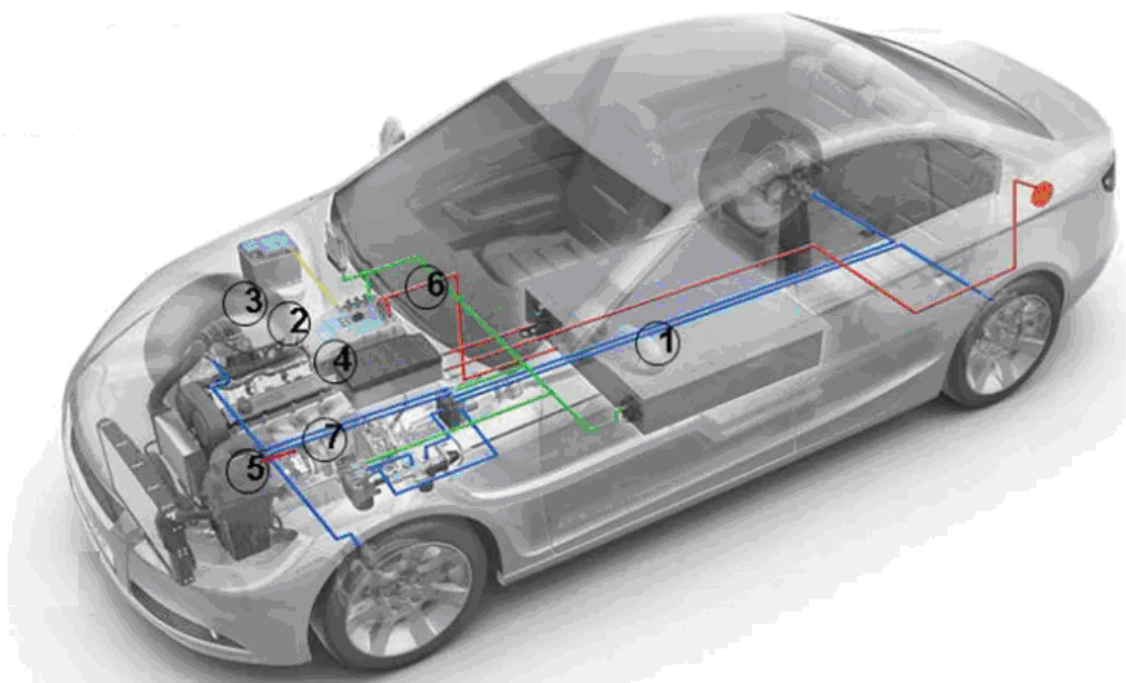


Рисунок 4.1 – Схема силової електричної системи АТЗ із ГСУ

1 – САБ та система керування; 2 – інвертор; 3 – перетворювач; 4 - зарядний пристрій системи «Plug-in HEV» для САБ; 5 – компресор; 6 – високовольтна мережа; 7 – електромотор-генератор.

В концепцію «гібридності» АТЗ було закладено реалізацію технічної переваги кожного з модулів силової установки: ДВЗ й електромотору, що повинне

забезпечити високі показники екологічності й економічності автомобілів, особливо у міському режимі руху. Додатковою перевагою автомобілів даного типу стало зменшення рівня інтенсивності зношення елементів гальмівної системи за рахунок перетворення частини кінетичної енергії не у теплову – в спряженні «гальмівні колодки – гальмівні диски», а у електричну – у електромоторі-генераторі за рахунок наявності в їх конструкціях системи «KERS» (рекуперації кінетичної енергії).

Оцінюючи рівень конструктивної складності АТЗ із ГСУ слід відмітити, що вони складаються практично з однакової кількості систем й агрегатів, у порівнянні із автомобілями оснащеними традиційними ДВЗ.

Однією з найдорожчих складових «гібридних» силових установок автомобілів на даному етапі їх еволюціонування була й поки що залишається САБ. Більшість виробників таких АТЗ комплектують їх САБ термін експлуатації яких порівняний із терміном експлуатації самого автомобіля; разом з тим гарантійні зобов'язання забезпечуються ними в середньому лише на 8 років або 160 тис. км пробігу. Натомість, дослідження ресурсів САБ, наприклад в експлуатаційних умовах США показали, що для «гібридних» автомобілів різних японських (в основному «Toyota» й «Honda») виробників дійсний експлуатаційний термін лежить у діапазоні 5...15 років й забезпечує загальний пробіг автомобілів близько 300 тис. км на базових САБ без проведених втручань до їх заводських конструкцій, в той час як вартість нового комплекту САБ в середньому для цих АТЗ становить близько 2,0 тис. дол. США.

Разом з тим довід експлуатації АТЗ із ГСУ показав, що із збільшенням потужності силового модуля ГСУ процеси втрати ємкості САБ інтенсифікуються. Щодо надійності ДВЗ «гібридних» АТЗ, то рівень його надійності є вищим за надійність аналогічних за конструкцією ДВЗ класичних автомобілів. Поясненням цього факту є знижені динамічні навантаження, що діють у ДВЗ ГСУ за рахунок менших ступенів стиску, роботі за відмінними від Отто циклами – більш простим аналогом циклу Аткінсона, який отримав назву циклу Міллера. Більш того, швидкісний режим роботи таких двигунів є сталим за кількістю обертів, що дозволяє оптимізувати всі його робочі процеси й в результаті отримати що збільшує його високі показники економічності, екологічності та надійності.

Зменшений рівень динамічних й теплових навантажень ДВЗ визначає можливість збільшення міжсервісних інтервалів його обслуговування, що зменшує рівень експлуатаційних витрат на дану технічну підсистему ГСУ.

Збільшеними показниками надійності та термінами експлуатації характеризуються й елементи колісних гальмівних механізмів, а саме гальмівні колодки й диски, що працюють менш інтенсивно за рахунок забезпечення початкової стадії процесу сповільнення АТЗ активацією роботи системи «KERS», що в результаті забезпечує пробіг автомобіля у 100...150 тис. км. на момент виникнення необхідності заміни цих елементів, натомість як у автомобілів із звичайними ДВЗ заміна колодок проводиться через 40...60 тис. км, а гальмівних дисків - в інтервалі 100...120 тис. км.

При значних термінах експлуатації, які оцінюються пробігами АТЗ більш як 120 тис. км виникає потреба у проведенні обслуговування найбільш відповідальної й вартісної системи АТЗ із ГСУ – їх електричних силових систем. Складність виконання технічних дій визначається як відсутністю запасних деталей до них, так й відсутністю сервісного персоналу відповідної кваліфікації. Саме тому, найбільш поширеною залишається технологія вузлової заміни елементів без проведення відновлювальних робіт.

Практичні дані свідчать, що більшість експлуатаційних несправностей (до 80%) елементів ЕСУ «гібридних» АТЗ припадає на вихід з ладу інвертору, який забезпечує процес зарядки САБ при роботі ДВЗ. Ремонт даного пристрою проводити недоцільно з огляду на його фактично нерозбірну конструкцію й відсутність гарантійних зобов'язань з боку виконавців; більш правильним, натомість у 2 рази дорожчим (приблизно 60...80 тис. грн..) є його заміна. В жодному разі несправний інвертор не дозволить здійснити запуск ГСУ.

Разом з тим, вихід з ладу інвертору є результатом його перегріву й вигорання, яких можна уникнути за умови своєчасного та повномірного проведення профілактичних заходів у системах його охолодження й живлення. Досвід обслуговування АТЗ із ГСУ ПП «Авто-Шанс Центр» дозволяє встановити характер розподілу відмов між найбільш відповідальними системами цих автомобілів (рис. 4.2), який показав, що найменш надійними є системи

електричного й електронного обладнання (35,6%); спостерігається й високий рівень несправностей й відмов ГСУ (27,5%), підвіски (понад 14,1%). Сукупні відмови всіх інших систем і механізмів не перевищують 25%.

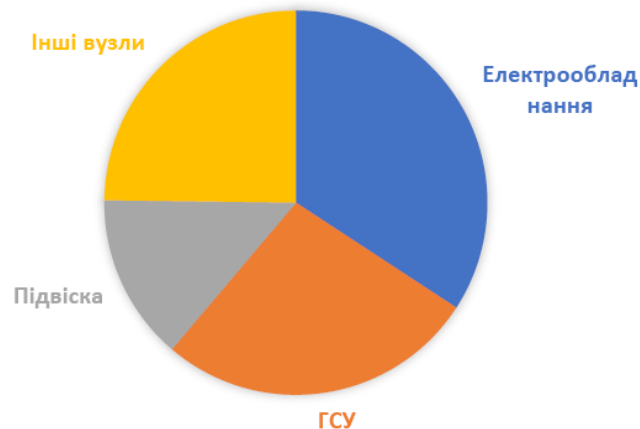


Рисунок 4.2 - Розподіл відмов між найбільш відповідальними системами АТЗ із ГСУ (за даними ПП «Авто-Шанс Центр»)

Деталізуючи дані відмов слід відзначити, що найбільш актуальним запитом власників АТЗ із ГСУ під час звернення на підприємство є проблеми з САБ, які характеризуються передчасною втратою її ємності (понад 65% випадків звернень). Причиною є конструктивні особливості САБ, які передбачають максимально щільне розміщення її елементів живлення в блоках. Під час експлуатації відбувається їх розбалансування за показниками ємності, внутрішнім опором й іншими технологічними параметрами, що призводить до падіння ефективності функціонування батареї. Фіксуються й випадки появи на контактних поверхнях мідних пластин САБ ділянок окислення.

Всі описані несправності САБ зумовлюють підвищення рівня витрати ГСУ палива, появою некоректної індикації щодо рівня заряду й розряду САБ та можуть за умови подальшої її експлуатації підвищити ймовірність вибухового руйнування несправного елемента із наступним вірогідним займанням АТЗ.

Було також виявлено, що найбільш частою причиною появи несправностей ГСУ є вихід з ладу найбільш відповідального механізму системи охолодження інвертора – його помпи, рівень відмов якої характеризується частотою появи у понад 70,0%. Натомість доля відмов інших елементів ГСУ є незначною й складає в більшості менше як 6,1%, за винятком силового модуля – несправності якого відмічаються у 11,7% випадках (рис. 4.3) Наведена на рис. 4.3 інформація

стосується «гібридних» АТЗ «Toyota Prius» (І-го та ІІ-го поколінь), які мають одну і ту ж схему кінематичного з'єднання.

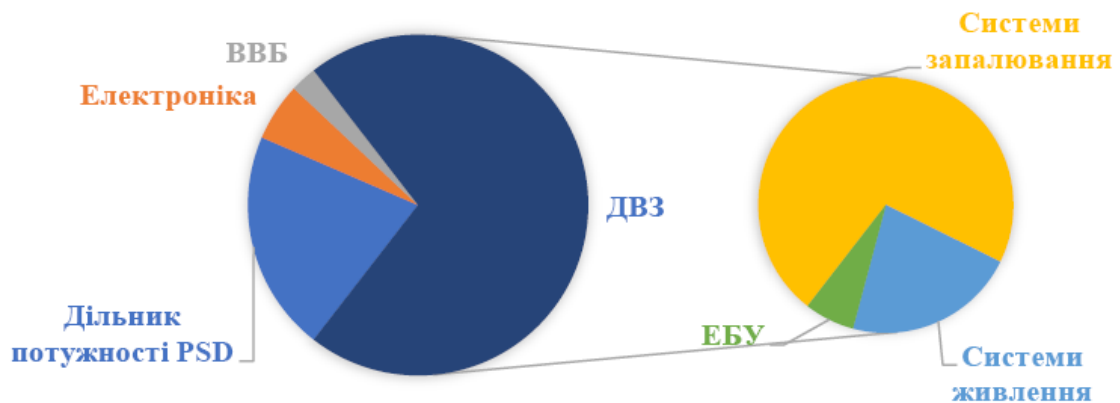


Рисунок 4.3 – Розподіл відмов між складовими ГСУ

Для цих АТЗ найменш надійною системою ГСУ є їх ДВЗ (моделі 1NZ-FXE) на який припадає понад 72,2% всіх відмов. В розрізі систем і механізмів цього ДВЗ ситуація виглядає наступним чином: 51,2% мають системи запалювання, 16,5% - система живлення, й лише 4,3% - відмови ЕБК двигуна.

Разом з тим, відмови всіх означених елементів викликають появу непрацездатного стану АТЗ, так як електрична складова ГСУ не дозволяє отримати достатню дальність пробігу. Не відрізняється надійністю й дільник потужності (PSD) - за кількістю відмов він знаходиться на другій позиції після ДВЗ із показником 22,1%. Вихід з ладу або помилки в роботі цього пристрою спричиняють помилки у перерозподілі потужності, що передається від ДВЗ на ведучі колеса АТЗ й спричиняють перезарядку САБ. В свою чергу некоректна зарядка САБ зумовлює появу ненормованих втрат її ємності розряду із наступним неминучим виходом з ладу структурних блоків САБ. Всі сукупні відмови електроніки ГСУ складають лише 5,6% її відмов, але без їх усунення система перерозподілу крутного моменту виходить з ладу. Основною причиною є відмови транзисторів інвертора зумовлені перегрівом силових обмоток статору в результаті неефективної роботи системи охолодження інвертора.

4.2 Особливості організації сервісу АТЗ із ГСУ

В першу чергу слід зазначити, що конструкції таких систем АТЗ із ГСУ як: основні системи керування (гальмівна система та рульове керування), підвіска й

приводи коліс, кузов й механізми системи трансмісії, світлотехніки, систем охолодження та кондиціювання салону – фактично мають мінімальні відмінності від будови аналогічних систем автомобілів із традиційними ДВЗ, отже й потребують більш-менш подібних методик, сервісних періодів та обсягів виконання робіт. Разом з тим є й певні відмінні моменти, що притаманні лише АТЗ із ГСУ, а саме:

- інша, більш складна конструкція трансмісії, яка може включати складний редуктор, що сприймає окремо крутні моменти від ДВЗ та електромашини й оснащений додатковими електронно-керованими муфтами;
- наявність силової електромотору, САБ, інвертору, мереж (кабелів) високої напруги та інших електричних модулів;
- наявність особливої системи рідинного охолодження для забезпечення оптимальної температури електромотору, САБ зарядного пристрою для автономного підключення до зовнішнього джерела електроенергії (побутового або промислового) й електроніки;
- наявність системи «KERS» (системи рекуперації кінетичної енергії);
- автономність роботи кліматичних систем без необхідності активації силового двигуна тощо.

Періодичність виконання сервісних робіт для автомобілів даної групи визначається нормативами встановленими їх виробником із використанням спеціалізованого технологічного обладнання й інструментів. За даними ПП «Авто-Шанс Центр», обсяги робіт із ТО АТЗ із ГСУ фактично є тотожними обсягам аналогічних робіт для АТЗ із ДВЗ за незначними відмінностями, якими виступають обсяги додаткових видів робіт виділених на обслуговування електричної підсистеми ГСУ.

Загальний перелік планових робіт з ТО легкових автомобілів із ГСУ передбачає:

- діагностику САБ – візуальну перевірку технічного стану й оцінку рівня її залишкової ємності (1 раз впродовж року або кожні 10 тис. км); у разі потреби - заміну окремих акумуляторних елементів;
- перевірку системи зарядки САБ (1 раз впродовж року або кожні 10

тис. км);

- перевірку стану акумулятора електричної системи (12 В) та його заміну (1 раз на 5 років);
- перевірку та підтягування контактних з'єднань силової електричної мережі електродвигуна та САБ (кожні 20...30 тис. км)
- заміну оливного, повітряного фільтру та оливи ДВЗ (кожні 40...50 тис. км) та механізмах трансмісії (КП, редукторі ведучого мосту) та інших технологічних рідин й витратних матеріалів (кожні 90 тис. км);
- перевірку рівня охолоджувальної рідини ДВЗ й інвертора (кожні 15 тис. км.) та її заміну (кожні 150 тис. км.);
- діагностику стану підвіски, гальмівної системи, системи рульового керування та їх обслуговування (1 раз на рік або кожні 40 тис. км);
- повну заміну гальмівної рідини (1 раз у 5 років);
- змащування деталей і рухомих вузлів кузова (дверей капоту та багажнику) і заміна газових амортизаторів капоту (після пробігу 120 тис. км.);
- балансування коліс (кожні 15...20 тис. км.);
- діагностику освітлювальних й сигнальних приладів й пристроїв та ін. види робіт.

Під час експлуатації АТЗ із ГСУ дуже важливо уважно стежити за появою ознак, що можуть свідчити про виникнення певних відхилень в роботі або несправностей окремих систем, вузлів й механізмів, які можуть проявлятися у вигляді:

- зниження динамічних показників, що не дозволяє АТЗ забезпечувати попередню розгінну й гальмівну динаміку та розвивати максимальну швидкість, що може бути свідченням наявних проблемами у системах електрозабезпечення, пошкодженням внутрішніх компонентів електродвигуна, ДВЗ або помилками у системах їх керування;
- перегріву, що є ознакою неправильної роботи системи охолодження та проявляється появою запаху гару або індикацією попереджувальних сигналів на панелі приладів автомобіля;
- появи сторонніх звуків, що є свідчать про наявні проблеми

з'єднаннями, зношенням підшипників, пар зубчастих передач, приводів ведучих коліс й їх шарнірів, механізмів гальмівних та рульових приводів, механізмів ДВЗ та електродвигуна та ін.

У разі виникнення позаштатних ситуацій та необхідності втручання до конструкції будь-якої системи, механізму або вузла АТЗ із ГСУ задля виконання сервісних та/або ремонтних дій потрібно обов'язково активувати механізм захисного відключення САБ, який повністю знеструмлює силову електричну мережу за допомогою головного реле системи («SMR»), яке перериває всі силові ланцюги. Всі власники АТЗ із ГСУ, як й виробничий персонал сервісних підприємств, допущений до роботи із даними автомобілями, повинні знати точне місце розташування цього розмикача й вміти працювати з ним.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У представлений магістерській роботі на основі аналізу конструктивних особливостей гібридних автомобілів, розроблений комплекс заходів щодо підвищення ефективності їх експлуатації в залежності від змінних умов і режимів; й експлуатаційної надійності за рахунок застосування технологій сервісного обслуговування.

Для цього в першому розділі роботи «Вибір актуального напрямку досліджень» визначені особливості організації та виробничої діяльності автосервісного підприємства «Авто-Шанс Центр»; виконаний порівняльний «SWOT-аналіз». Визначено, що на сьогодні відсутня мережа сервісних центрів із обслуговування легкових автомобілів із гібридними силовими установками. Більш того, невідомою залишається й динаміка зміни їх чисельності у найближчі роки, що вимагає проведення комплексних досліджень ефективності використання таких транспортних засобів у змінних експлуатаційних режимах міського руху. На поточний час відсутні порівняльні дані щодо ефективності та надійності АТЗ із ГСУ у порівнянні із автомобілями до конструкції яких входять традиційні ДВЗ.

Залишається невирішеною проблема забезпечення високого рівня ефективності експлуатації та сервісного обслуговування гібридних автомобілів. Саме тому, дослідження спрямовані на підвищення ефективності експлуатації та сервісного обслуговування автомобілів з ГСУ є доволі актуальними, та можуть дозволити підприємству зайняти нову виробничу нішу. В результаті були визначені актуальні напрямки досліджень, встановлена їх мета, визначені об'єкт й предмет, сформульовані задачі, які потребують подальшого вирішення.

У другому розділі «Аналіз особливостей формування парку АТЗ із ГСУ» наведена класифікація легкових АТЗ із ГСУ, яка дозволила встановити, що серед існуючих конструктивних й кінематичних схем гібридних двигунів, найбільш поширеною PHEV-гібриди, які мають можливість поповнювати енергію у САБ від зовнішнього джерела енергії (побутової електромережі або спеціальної зарядної станції). Визначені також переваги й недоліки ГСУ АТЗ, які показали не однозначність переваг гібридів, та виявили низку їх експлуатаційних проблем, які стримують їх поширення. Основними недоліками ГСУ визнано підвищену вартість заміни САБ та суб'єктивність в оцінці рівня їх паливної економічності. Виконаний аналіз поточного стану та динаміки зміни парку легкових АТЗ із ГСУ

в Україні показав, що позитивна динаміка збільшення їх чисельності дійсно спостерігається, але щорічний приріст не є значимим й за останні 3-ох рок оцінюються коефіцієнтом лише 1,34. Встановлено також, що лідером з продажу АТЗ із ГСУ в Україні є компанії «Toyota» із показниками охоплення ринку у 45% нових й 32% ринку вживаних автомобілів, а на другому місці компанія «Nissan» із показником 10% нових «гібридних» АТЗ, в той час як на вторинному ринку цю позицію займає компанія «Ford Motor Co» (14,2%); частки інших автовиробників є набагато меншими й тримаються в інтервалі лише 2%...7%.

У третьому розділі «Дослідження ефективності використання АТЗ із ГСУ в експлуатаційних умовах» роботи вирішено актуальну задачу – оцінки ефективності використання АТЗ із ГСУ при удосконаленні методу визначення витрат енергоносіїв у різних експлуатаційних умовах, що дозволило визначити й порівняти рівні витрат енергоносіїв такими автомобілями при зміні експлуатаційних та економічних умов. За допомогою цього методу проведено порівняльне дослідження витрат енергоносіїв АТЗ із ГСУ із зовнішнім зарядом «Toyota Prius PHV», «Chevrolet Volt» та аналогічного їм АТЗ із ДВЗ – «Volkswagen Golf VII 1,4 TSI» під час різних режимів їх експлуатації. Дослідження показало, що в Україні витрата енергоносіїв у режимі «тільки електрика» в 3...4 рази нижча, ніж у «гібридному» режимі.

Проведені дослідження добового пробігу автомобіля «Toyota Prius PHV» у режимі «тільки електрика» за рахунок енергії, що накопичена в тягових акумуляторних батареях типу «TS-LFP90AHA» від зовнішніх джерел енергії, в залежності від експлуатаційних умов. Виконані й дослідження технічних можливостей даного автомобіля спорядженою масою 1640,0 кг, яке виявило, що добовий пробіг у режимі «тільки електрика» в легких умовах руху може скласти 50 км, у середніх – лише 33 км. Збільшення навантаження АТЗ до повної його маси у 1595,0 кг знижує максимальну дальність пробігу до 35,0 км в той час як ускладнення експлуатаційних умов пов'язаних із зниженням температурних показників - зменшує пробіг із 50,0 км до мінімальних 20 км. Також встановлено, що вартість експлуатації «гібридного» автомобіля «Toyota Prius PHV» у 2,5 рази є більш вигідною, ніж серійного автомобіля класу аналогічного із ДВЗ.

В четвертому розділі «Забезпечення експлуатаційної надійності АТЗ із ГСУ» виконана оцінка показників надійності АТЗ із ГСУ й досліджені особливості організації їх сервісу.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Реєстр підприємств України. URL: https://youcontrol.com.ua/catalog/company_details/39762245/
2. О. Шило. Звіт з переддипломної практики «Підвищення ефективності експлуатації та сервісного обслуговування автомобілів із гібридними силовими установками у ПП «Авто-Шанс Центр» м. Кропивницький». – Кропивницький, ЦНТУ, кафедра ЕРМ, 2023. – 18 с.
3. ПП «Авто-Шанс Центр» (м. Кропивницький). Офіційний сайт. URL: <https://www.auto-shans.com.ua/>
4. Electric and Hybrid Vehicles – By Tom Denton (Published June 10, 2020).
5. Electric and Hybrid Vehicles Power Sources, Models, Sustainability, Infrastructure and the Market. - Gianfranco Pistoia (1st Edition - July 27, 2010).
6. Plug-in Hybrid Electric Vehicle (PHEV) - Joeri VAN Mierlo (August 2019).
7. Електронний ресурс. Що таке «гібридні автомобілі» та який з них вибрати? Режим доступу: https://auto.ria.com/uk/news/first_auto/257934/scho-take-gibridni-avtomobili-ta-yakij-z-nikh-vibrati.html.
8. Електронний ресурс. Гібрид це – як працює гібридний автомобіль? Режим доступу: https://atl.ua/ua/blog/polezno-znat/gibrideto-399?srsId=AfmBOOp5aCOcGjQJYza-WdrqD_OTdxySZUfo00WXv-fyPEDUS_hhZ2ou.
9. 3. Кужель В.П. Проблеми та перспективи експлуатації електромобілів на території України // В.П. Кужель, О.В. Харчук // Науково-технічна конференція Вінницького національного технічного університету. XLV Науково-технічна конференція факультету машинобудування та транспорту, 10-11 березня 2016 р. : Збірник наукових праць / Вінницький національний технічний університет. – Вінниця: ВНТУ, 2016. Режим доступу: <http://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fmt/all-fmt-2016/paper/view/1213>.
10. Електронний ресурс. Переваги та недоліки гібридних силових установок автомобілів. Режим доступу: https://auto.24tv.ua/nazvani_holovni_nedoliky_hibrydnykh_avtomobiliv_n48460.
11. Електронний ресурс. Переваги та недоліки гібридних автомобілів: чи варто переходити на зелений транспортний засіб? Режим доступу: <https://autopark.ua/uk/news/perevagitanedolikigibridnihavtomobiliv>.
12. Електронний ресурс. Переваги гібридних автомобілів. Режим доступу: <https://car4you.ua/uk/hibrydni-avtomobili/>

13. Електронний ресурс. Названі головні недоліки гібридних автомобілів
Режим доступу:
https://auto.24tv.ua/nazvani_holovni_nedoliky_hibrydnykh_avtomobilv_n48460/
14. Електронний ресурс. Переваги та недоліки гібридних автомобілів: чи варто переходити на зелений транспортний засіб? Режим доступу:
<https://autopark.ua/uk/news/perevagitanedolikigibridnihavtomobiliv>.
15. Електронний ресурс. Що коїться в сегменті гібридних автомобілів в Україні? Режим доступу: <https://autoconsulting.ua/article.php?sid=53757>.
16. Електронний ресурс. Розподіл ринку за паливом зараз Режим доступу:
<https://eauto.org.ua/news/572-gibridni-avto-yaki-u-nih-perspektivi-na-ukrajinskomu-rinku>.
17. Електронний ресурс РБК-Україна. В Україні вперше розкрита інформація про кількість зарядних станцій для електромобілів. Режим доступу:
<https://www.rbc.ua/ukr/auto/ukraine-vpervye-raskryta-informatsiya-zaryadnoy-1637051605.html>
18. Електронний ресурс ECO Cars. Зарядні станції для електромобілів в Україні — інфраструктура та розвиток. Режим доступу:
<https://ecocars.in.ua/elektrozapravky/>, <https://hevcars.com.ua/ukraine-charging-stations/>
19. Г.О. Ковальчук, В.П. Сахно. Основи конструкції автомобіля. Навчальний посібник в електронному вигляді. – К.: В-во: "КВІЦ", 2011. - 805 с..
20. Електронний ресурс Autonova-D. Електромобілі: особливості обслуговування
Режим доступу:
<https://autonovad.ua/index.html?id=news&category=9&nid=632>
21. Електронний ресурс Перший електромобільний портал AUTOGEEK/Тонкощі сервісного обслуговування Режим доступу:
<https://autogeek.com.ua/tonkoshhi-servisnogo-obslugovuvannya-elektromobiliv-yak-obraty-pravylnu-sto/>
23. Охорона праці на автомобільному транспорті: навчальний посібник / Пістун І.П., Хомяк Й.В., Хомяк В.В. – 2-ге вид., стер. – Суми: Університетська книга, 2015. – 374 с.
24. Методичні вказівки для виконання випускної кваліфікаційної роботи для здобувачів за освітньо-професійної програми «Автомобільний транспорт» другого (магістерського) рівня вищої освіти спеціальності 274 – «Автомобільний транспорт» денної та заочної форми навчання / уклад.: С.О. Магопєць, Ю.В. Кулєшков, О.В. Бєвз, М.В. Красота, Д.В. Голуб, А.С. Максимєнко; під заг. редакцією к.т.н., доц. Магопця С.О. - Кропивницький: ЦНТУ, 2022. – 46 с.