

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний автомобільно-дорожній університет
Автомобільний факультет
Кафедра інжинірингу систем автомобільного транспорту імені М.Я.
Говорущенка

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
бакалавра

ПРОГНОЗУВАННЯ ЗАЛИШКОВОГО РЕСУРСУ ГІБРИДНОЇ СИЛОВОЇ
УСТАНОВКИ АВТОМОБІЛЯ

Завідувач кафедри, д-р техн. наук, проф.



Володимир ВОЛКОВ

Нормоконтролер, канд. техн. наук, доцент



Ігор МАРМУТ

Керівник, д-р техн. наук, проф.



Олексій БАЖИНОВ

Здобувач гр. А-42-22



Ігор МИЩЕНКО

ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АВТОМОБІЛЬНО-ДОРОЖНІЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет автомобільний

Кафедра інжинірингу систем автомобільного транспорту імені М.Я. Говоруценка

Освітньо-кваліфікаційний рівень Бакалавр

Спеціальність: 274 «Автомобільний транспорт»

Освітня програма «Автомобільний транспорт»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри, проф.



В. П. Волков

«___» _____ 2026 року

З А В Д А Н Н Я

на кваліфікаційну роботу студенту

Мищенко Ігору Олександровичу

1. Тема роботи: «Прогнозування залишкового ресурсу гібридної силової установки автомобіля»

Керівник роботи Бажинов Олексій Васильович, д-р. техн. наук, проф.

Затверджені наказом ректора ХНАДУ №56 від 31.03.2026, протокол ради АФ №7/26 від 23.03.2026 року



2. Строк подання студентом роботи 13.06.2026 р.

3. Вихідні дані до роботи: ДСТУ ГОСТ 2.702:2013 ЄСКД. Правила виконання схем; ГОСТ 2.755-87 (СТ РЕВ 5720-86) ЄСКД. Позначення умовні графічні в схемах. Адаптивні системи автомобілів; СТВНЗ 10-01:2017 Стандарт вищого навчального закладу

4. Перелік питань, які потрібно розробити: 1 Особливості конструкції гібридної силової установки автомобілів; 2 Аналіз методів прогнозування ресурсу гібридної силової установки; 3 Прогнозування залишкового ресурсу ГСУ; 4 Дослідження зміни технічного стану гібридної силової установки; 5. Охорона праці. Висновки.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): Аналіз причин щодо зниження ресурсу силової установки (2 слайда); Методи прогнозування залишкового ресурсу технічних систем (2 слайда); Математична модель залишкового ресурсу гібридної силової установки (2 слайда).

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Всі розділи	Бажинов О.В., проф., д-р техн. наук		

7. Дата видачі завдання 28 квітня 2026 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Особливості конструкції гібридної силової установки	1 травня 2026 р.	
2	Нейромережева модель оцінки ресурсу силової установки автомобіля	14 травня 2026р.	
3	Дослідження зміни технічного стану гібридної силової установки автомобіля	21 травня 2026 р.	
4	Охорона праці	1 червня 2026 р.	
5	Підготовка презентації	5 червня 2026 р.	
6	Редагування та оформлення пояснювальної записки, підготовка презентації	10 червня 2026 р.	

Студент



Міщенко І.О.

Керівник роботи



Бажинов О.В.

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота : 72с., 13 рис., 5 табл., 1 додаток, перелік посилань включає 21 джерело.

ГІБРИДНА СИЛОВА УСТАНОВКА, РЕСУРС, ТЕХНІЧНИЙ СТАН, АВТОМОБІЛЬ, МЕТОД.

Метою дипломної роботи є дослідження методів прогнозування залишкового ресурсу гібридних силових установок.

Об'єктом дослідження є процес визначення робочих характеристик функціональних систем гібридної силової установки автомобіля.

Предметом дослідження є методи визначення ефективної роботоздатності гібридної силової установки на етапі експлуатації.

Методи дослідження: вирішення поставленої задачі забезпечується використанням системного підходу та раціонального поєднання теоретичних і експериментальних досліджень.

.ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
1 ОСОБЛИВОСТІ КОНСТРУКЦІЇ ГІБРИДНИХ СИЛОВИХ УСТАНОВОК.....	10
1.1 Аналіз гібридних силових установок.....	10
1.2 Аналіз методів прогнозування залишкового ресурсу гібридної силової установки.....	23
2 ПРОГНОЗУВАННЯ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ГІБРИДНОЇ СИЛОВОЇ УСТАНОВКИ.....	30
2.1 Модель оцінки технічного стану ГСУ.....	30
2.2 Прогнозування залишкового ресурсу ГСУ.....	38
3 ДОСЛІДЖЕННЯ ЗМІНИ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ГІБРИДНОЇ СИЛОВОЇ УСТАНОВКИ	45
3.1 Вибір параметрів оцінки технічного стану ГСУ.....	45
3.2 Розробка методики прогнозування залишкового ресурсу ГСУ.....	48
3.3 Вибір параметрів оцінки технічного стану ГСУ	51
4 ОХОРОНА ПРАЦІ.....	54
ВИСНОВКИ.....	57
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	58
Додаток А Ілюстративний матеріал до кваліфікаційної роботи	61

ВСТУП

Актуальність теми. На сьогоднішній день в Україні зареєстрована велика кількість автомобілів із гібридною силовою установкою. З кожним роком кількість таких автомобілів зростає від 300 до 400 %.

В існуючих гібридних автомобілях передача енергії від первинного двигуна на провідний вал коліс автомобіля реалізована через одну з таких схем: послідовна, паралельна або змішана. Деякими компаніями прийнято розділяти гібриди на «м'які» (mild hybrids), де допоміжне джерело енергії виступає тільки в ролі асистента, «повні» (full hybrids), здатні деякий час рухатися тільки на допоміжному джерелі енергії, і «підзаряджатися» (plug-in hybrids).

Будь-який гібридний автомобіль містить первинне джерело енергії, найчастіше це ДВЗ і вторинний джерело енергії, наприклад акумуляторна батарея, в цьому випадку гібридний автомобіль називають «електричним» (hybrid electric vehicle). Існують і інші типи гібридних автомобілів: «пневматичний» (pneumatic hybrid vehicle), «маховикові» (flywheel hybrid vehicle), «гідравлічний» (hydraulic hybrid vehicle), однак масової популярності серед класу легкових автомобілів вони не отримали.

Діагностування, ремонт автомобілів з електромеханічними гібридними силовими установками (ГСУ) є проблемою. ГСУ в сукупності з бортовим комп'ютером автомобіля і іншими його вузлами є складною системою, що вимагає спеціальних підходів при визначенні технічного стану та ремонті. Саме така проблема може виникнути при експлуатації подібних автомобілів. Зокрема гібридних автомобілів Toyota, Lexus, Honda, Ford - найбільш поширених в Україні, їх кількість займає більше ніж 50 % від всього автопарку гібридних автомобілів. У свою чергу від технічного стану автомобіля на дорозі безпосередньо залежить безпека учасників дорожнього руху.

Провідні виробники гібридних автомобілів на даний момент мало зацікавлені в організації якісного обслуговування і надання інформації за умовами визначення технічної справності і нормативним параметрам ГСУ. Обслуговуючий персонал станцій технічного обслуговування не має кваліфікації для проведення діагностики та ремонту подібних автомобілів.

В процесі експлуатації погіршення ефективних показників елементів ГСУ може бути викликано нормальним зносом деталей, відсутністю необхідного технічного обслуговування, іншими взаємопов'язаними причинами. У той же час несправності можуть бути не явними, тобто виникаючими тільки в певних умовах, не завжди визначаються або не визначеними статичними вимірами.

У зв'язку з цим в даній роботі пропонуються методики, устаткування і рекомендації, що дозволяють спростити процес діагностування, апріорно оцінити технічний стан гібридного двигуна автомобіля, і принципи роботи гібридних систем.

1. ОСОБЛИВОСТІ КОНСТРУКЦІЇ ГІБРИДНИХ СИЛОВИХ УСТАНОВОК

1.1. Аналіз гібридних силових установок

Перспективним напрямком підвищення ефективності та екологічної безпеки гібридних транспортних засобів є використання комплексного підходу до оцінки їх технічного стану з метою вибору найкращої технології діагностування гібридної силової установки, які експлуатуються в умовах України.

Аналіз підходів, принципів і методів діагностування гібридних силових установок показує необхідність їх подальшого розвитку та вдосконалення. Більшість викладених технологій діагностування гібридних силових установок не дозволяють об'єктивно проводити комплексну оцінку їх технічного стану за діагностичними параметрами, оскільки не відпрацьовано механізм їх спільного нормування і приведення до єдиної шкали вимірювання. Аналіз відмов і несправностей, які виникають в ГСУ автомобіля, свідчать про те, якщо проводити додаткові діагностичні операції та заміни запчастин не передбачених заводом виробником при технічному обслуговуванні, то зменшиться ймовірність відмов силової установки. Тим самим можна уникнути простій автомобіля в ремонті або заощадити витрату палива.

Відомі три варіанти гібридних силових установок (ГСУ): послідовна схема ; паралельна схема і послідовно-паралельна схема.

На рисунку 1.1 наведена послідовна схема гібридної силової установки. Двигун внутрішнього згоряння (ДВЗ) працює тільки на генератор, при цьому вибирається режим мінімального споживання палива. Енергія, що виробляється генератором, подається або на тяговий електродвигун, або в накопичувач енергії і на тяговий електродвигун, або тільки в накопичувач енергії. Тяговий електродвигун забезпечує весь необхідний силовий і швидкісний діапазони транспортного засобу і при його уповільненні

працює в режимі генератора, забезпечуючи рекуперацію енергії гальмування.

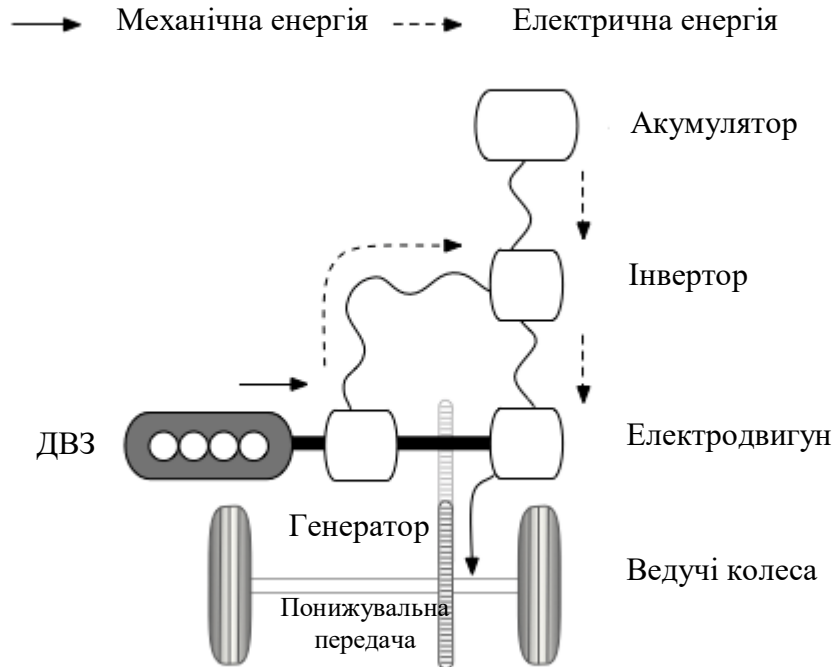


Рисунок 1.1 – Схема гібридної установки послідовного типу

Перевагами послідовної схеми є: можливість роботи первинного двигуна (ДВЗ) в постійному режимі мінімальної витрати палива, простота керування силовою установкою, відсутність спеціальних вузлів трансмісії. До недоліків слід віднести занадто малий коефіцієнт корисної дії (ККД) системи перетворення енергії від двигуна внутрішнього згоряння до приводних коліс. Така схема застосовується на Toyota Coaster Hybrid і різних автобусах, оснащених гібридними силовими установками.

На рисунку 1.2 наведена паралельна схема. ДВЗ і тяговий електродвигун (ТЕД), що живиться від акумуляторної батареї (АБ) через трансмісію, пов'язані з провідними колесами. Перевагою паралельної схеми є більш високий ККД передачі енергії від первинного двигуна до ведучих коліс, в порівнянні з послідовною схемою, і можливість

застосування однієї електромашини замість двох.

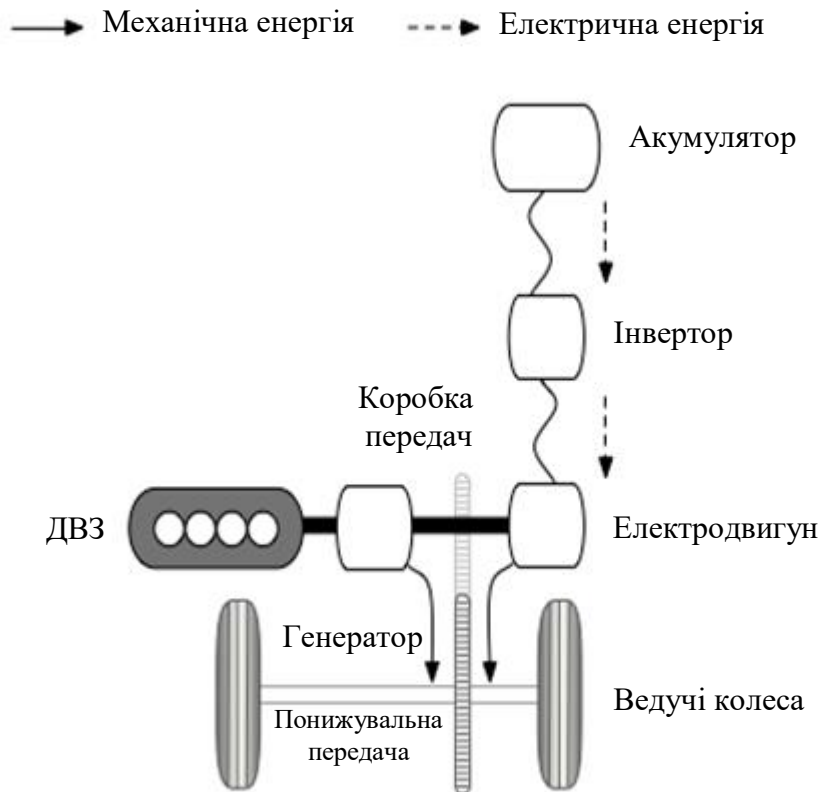
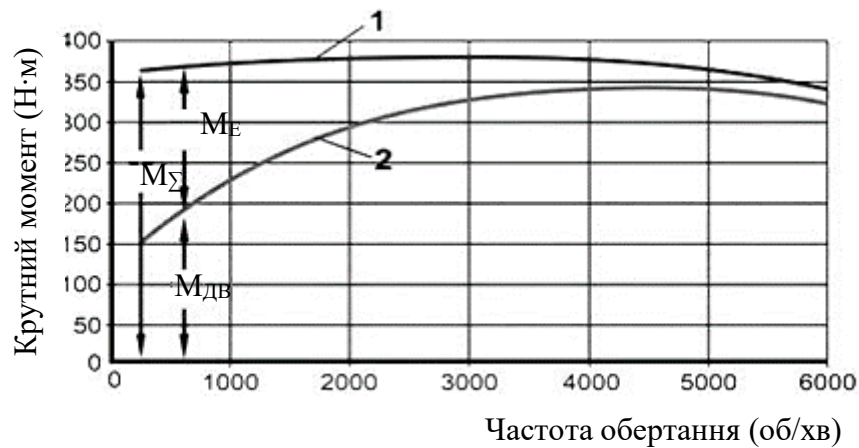


Рисунок 1.2 – Схема гібридної установки паралельного типу

Недолік - обов'язкове ускладнення трансмісії для забезпечення відбору (підведення) потужності електричної машини, відхід первинного двигуна від режиму мінімальної витрати палива при регулюванні швидкості руху транспортної машини і певне ускладнення системи управління трансмісією.

Можливий варіант і паралельної схеми, при якій оборотна Електромашини встановлюється в приводі іншого ведучого моста, ніж провідний міст трансмісії первинного ДВЗ. Наприклад, при передньо привідною схемою трансмісії первинного двигуна зворотній електричний мотор встановлюється в приводі заднього моста. Перевагою такого варіанту слід вважати певне спрощення трансмісії первинного двигуна, недоліком - використання колісного рушія в якості елемента системи

перетворення енергії. Ця схема застосовується на Honda Civic Hybrid.



1 – крива сумарного моменту; 2 – крива моменту ДВЗ
 M_{Σ} - сумарна величина моменту ДВЗ ($M_{ДВЗ}$) і моменту електродвигуна (M_E).

Рисунок 1.3 – Збільшення крутного моменту при спільній роботі ДВЗ і електродвигуна в паралельній схемі

У звичайних умовах часткових навантажень цілком достатньо ДВЗ зменшеного обсягу, а в разі необхідності більшої потужності (частіше додаткового крутного моменту) на допомогу ДВЗ приходить електричний двигун. Особливо важливо відзначити, що технічні характеристики двигуна внутрішнього згорання та електричного двигуна сильно відрізняються. Двигун внутрішнього згорання має максимальний крутний момент тільки при достатньо високих оборотах, а електричний двигун розвиває максимальний крутний момент на найнижчих оборотах обертання. Спільна робота ДВЗ і електродвигуна забезпечує необхідні динамічні якості автомобіля, навіть при застосуванні ДВЗ меншої потужності.

На рисунку 1.4 наведена послідовно-паралельна схема. Ця система поєднує в собі послідовну гібридну систему з паралельною для отримання максимальних переваг від обох систем. Вона має два двигуни, і в залежності від умов руху використовує тільки електромотор або приводиться в рух спільно з ДВЗ для досягнення високого рівня

ефективності. Надалі, коли це необхідно, система надає руху колеса, одночасно виробляючи електрику, задіявши генератор. Така система використовується на Toyota Prius, Estima Hybrid і Lexus RX400h. У послідовно-паралельному гібриді (Toyota Hybrid

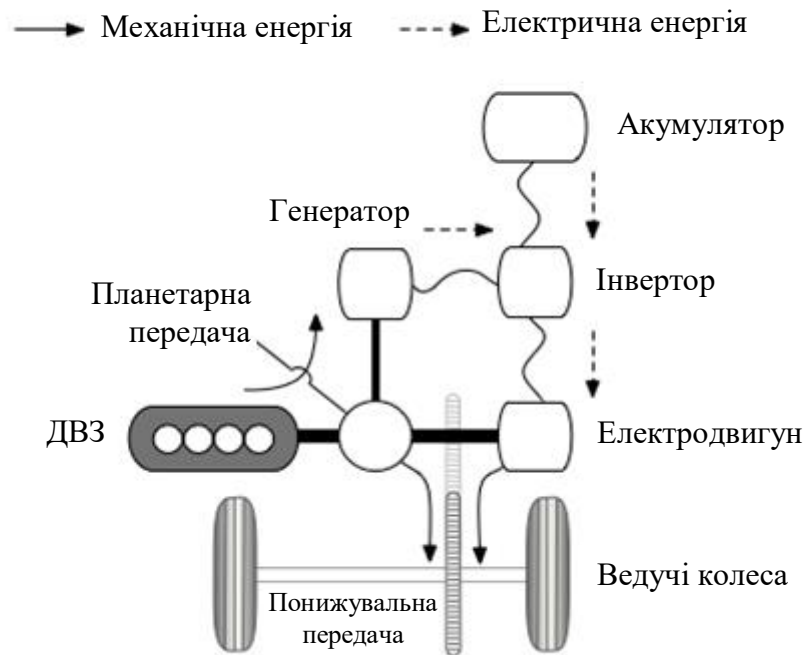


Рисунок 1.4 – Схема послідовно-паралельною гібридною установкою

System), планетарний дільник потужності розділяє силовий потік, що йде від двигуна так, що співвідношення потужності, що надходить безпосередньо на колеса, і що йде на генератор може плавно змінюватися. Оскільки електродвигун може працювати на електроенергії, що виробляється, то він використовується більше, ніж при паралельній схемі.

Система HSD встановлюється на хетчбек Toyota Prius, седані бізнес-класу Camry, всіх шляховиках Lexus RX400h, Toyota Highlander Hybrid, Harrier Hybrid, спортивному седані Lexus GS 450h і автомобілі люкс-класу - Lexus LS 600h. Ноу-хау компанії Toyota куплено компаніями Форд і Ніссан і використано при створенні Ford Escape Hybrid і Nissan Altima Hybrid. Toyota Prius лідирує по продажах серед всіх гібридів. Витрата бензину в місті становить 4 л на 100 км пробігу. Це перший автомобіль, у

якого споживання палива при русі в місті менше, ніж на шосе. На Паризькому автосалоні 2008 року була представлена модель Prius Plug-in hybrid.

З усього сказаного можна зробити висновок, що, напевно, немає сенсу вважати гібридні автомобілі рішенням всіх проблем. Це швидше проміжний етап на шляху до майбутньої машини з нульовим викидом шкідливих речовин. Гібридні технології дають можливість відпрацювати її ключові технічні компоненти - ємні компактні акумулятори, оптимізовані системи «повторного використання» енергії, технологію швидкої зарядки від зовнішніх джерел, нові електродвигуни, полегшені кузова. Тільки масове виробництво цих вузлів зможе наблизити той час, коли замість поїздки на заправку досить буде підключити залізного коня на годинку до звичайної домашньої електромережі – а потім їздити цілий день без підзарядки.

Високоточний датчик струму. Проблеми навколишнього середовища, такі як глобальне потепління, забруднення повітря та ін., Знаходяться під пильною увагою вчених. Розроблено гібридні автомобілі, що дозволяють знизити навантаження на екологію завдяки зменшеному викиду відпрацьованих газів і споживають менше палива. У міру зниження вартості виробництва гібридних автомобілів попит на них неухильно зростає. Крім цього здійснюються спроби популяризувати електромобілі і автомобілі на паливних елементах, які мають нульові викиди шкідливих речовин в атмосферу.

Вимоги до автомобільних датчиків струму. Для гібридів, електромобілів і авто на паливних елементах, що роблять відчутний внесок в боротьбу за чистоту навколишнього середовища, а також для двигунів з вбудованим джерелом живлення необхідна така функція, як здатність системи відстежувати і точно контролювати струм електромотора в режимі руху і струми заряду / розряду акумуляторної батареї. Кількість датчиків як ключових компонентів, службовців «очима» системи моніторингу, на

борту таких автомобілів значно зростає. У таблиці 1.1 представлено порівняння найпоширеніших на ринку датчиків струму. Кожен з них має свої переваги і недоліки в точності, ізоляційних властивостях, типі вимірюваного струму, кількості компонентів, споживанні струму і вартості. Вибір типу датчика обумовлений конкретним застосуванням і специфічними вимогами.

Таблиця 1.1 – Основні типи датчиків струму

Метод вимірювання	Метод резисторного шунта	Метод токового трансформатора	Магніто-пропорційний метод	Метод магнітного балансу
Чутливий елемент	Резисторний шунт	–	Датчик холу	Датчик холу
Точність	Низька	Дуже низька	Висока	Дуже висока
Ізоляція	Дуже низька	Висока	Висока	Висока
Вимірюваний струм	АС / DC	АС	АС / DC	АС / DC
Кількість компонентів	Велике	Середнє	Середнє	Низьке
Споживання струму	Середнє	Низьке	Низьке	Середнє
Вартість	Низька	Низька	Середня	Висока

Вимоги, що пред'являються до автомобільних датчикам. Акумуляторні батареї автомобіля забезпечують живлення постійним струмом, але в транспортних засобах також використовується і змінний струм. Тому є необхідність вимірювати обидва типи струму і, отже, струмовий трансформатор, який не може вимірювати постійний струм, не придатний для використання. Висока точність. Контроль струмів інвертора і ЕД гібридного автомобіля, особливо струмів заряду / розряду акумулятора, проводиться методом розрахунку на підставі даних від

декількох датчиків. Похибки вимірювань всіх датчиків підсумовуються, а це значить, що в даному застосуванні до точності показань пред'являються високі вимоги. Більш того, датчик струму повинен володіти високою точністю вимірювання в широкому температурному діапазоні. Ця вимога робить непридатними в даних умовах струмовий трансформатор і резисторний шунт.

Високі ізоляційні властивості. У більшості випадків на автомобілях використовуються високовольтні акумуляторні батареї (АБ) напругою в кілька сотень вольт. Це означає, що є необхідність повністю ізолювати АБ від низьковольтних електричних ланцюгів і блоків управління, а значить, датчик струму, який розділяє високо- і низьковольтну частина, повинен бути безконтактним і нізко індуктивним. Неізолюваний резисторний шунт в таких випадках можна використовувати, тільки якщо його доповнити трансформатором або оптопарою, а це призведе до непотрібного ускладнення схеми.

Висока надійність. Автомобільні стандарти встановлюють жорсткі вимоги до обладнання в умовах впливу електростатичного електрики, імпульсних перешкод, різких перепадів температури, вібрації і ударних навантажень. Японська компанія TDK розробила датчик струму SAA-200, перший в однойменній серії. Він був встановлений на багато автомобілів і отримав високу оцінку за свою стабільну роботу в складі системи.

Особливість датчика SAA-200. Для досягнення необхідної точності найбільш підходящими є магніто-пропорціональний метод і метод магнітного балансу. Компанія TDK в своїх датчиках використовувала метод магнітного балансу, так як він дозволяє досягти максимальної точності.

Принцип роботи даного методу полягає в наступному. У повітряний зазор сердечника з магніто м'якого матеріалу з високою проникністю поміщається датчик Холла. Магнітний потік B_1 , пронизливий датчик Холла, збільшується або зменшується пропорційно вимірюваній току

(кабелю, струмового шини і т.п.), Що проходить крізь сердечник. Сигнал від датчика Холла подається на операційний підсилювач, вихід якого з'єднаний з котушкою зворотного зв'язку, по якій тече струм зворотного зв'язку, що викликає зустрічний магнітний потік B_2 . Обмотка зворотного зв'язку зроблена так, щоб магнітний потік B_2 дорівнював B_1 , наприклад

$$I_1 \cdot N_1 = I_2 \cdot N_2 \quad (1.1)$$

Якщо $I_1 = 200$ А, $N_1 = 1$ виток, $N_2 = 4000$ витків, то маємо

$$200 \cdot 1 = I_2 \cdot 4000 = 200 \text{ А.}$$

Звідси отримуємо $I_2 = 0,05$ А.

Це означає, що через вимірювальний резистор протікає струм 0,05 А. Таким чином, вимірюваний струм I_1 визначається шляхом вимірювання напруги на резисторі. Цей загальноприйнятий метод забезпечує відмінну стабільність і точність.

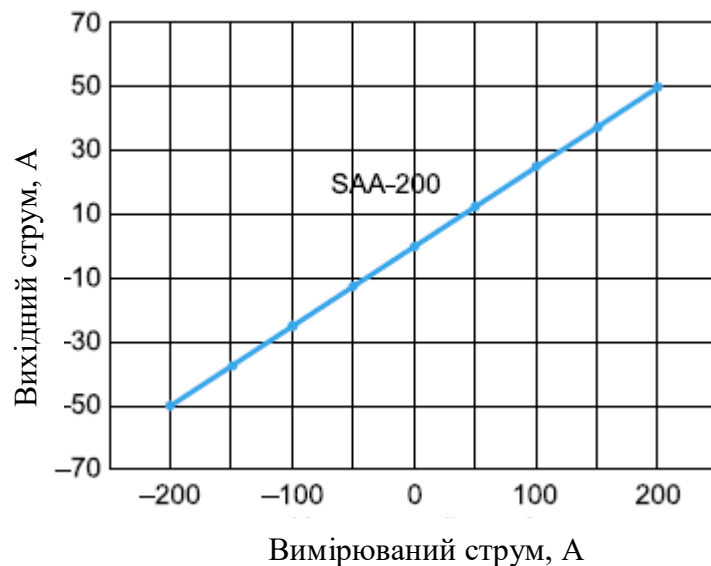


Рисунок 1.5 – Приклад вихідної характеристики

Лінійність вихідної характеристики. При використанні магніто-пропорційного методу магнітний потік в сердечнику зростає пропорції збільшенню вимірюваного струму, і межа вимірювання струму визначається рівнем, при якому відбувається насичення сердечника

На відміну від цього при використанні методу магнітного балансу магнітний потік усередині сердечника дорівнює нулю – завдяки зрівнює магнітному потоку, викликаного дією котушки зворотного зв'язку, як описано вище.

Таблиця 1.2 – Порівняння датчиків поточного і нового покоління

Параметри	Поточне покоління датчиків	Нове покоління датчиків струму
Метод	Магнітний баланс	Магнітний баланс
Напруга ПП	$\pm 12\text{В}$	+ 5В
Вихідний параметр	Вихідний струм	Вихідна напруга
Приклади	+ 200А \rightarrow +50мА	+ 200А \rightarrow +4.5В
	0А \rightarrow 0мА	0А \rightarrow +2.5В
	-200А \rightarrow -50мА	-200А \rightarrow +0.5В

Магнітне насичення відсутня навіть при вимірюванні великих струмів, і лінійність вихідної характеристики завжди дуже хороша і не залежить від лінійності характеристики датчика Холла.

Температурна стабільність. Коефіцієнт посилення датчика Холла в сильному магнітному полі залежить від навколишньої температури, тому і точність вимірювання струму також залежить від температури. Однак на датчик струму, зроблений за методом магнітного балансу, впливає тільки температурний зсув, а в цілому температурна характеристика близька до ідеальної і забезпечує високу точність вимірювання в широкому температурному діапазоні.

Подальший розвиток. Напруга джерела живлення в 5 В стає загальноприйнятим для останнього покоління електронних блоків управління. Крім того, щоб відповідати вимогам ринку, замість джерел струму все частіше використовують джерела напруги - через простоту їх

використання. У той же час діапазон виміру струму планується розширити за ± 200 до ± 300 А. Особливості датчиків SAA-200:

- висока точність вимірювань, яка не залежить від величини вимірюваного струму і навколишньої температури;
- безконтактний метод, що забезпечує повну ізоляцію від струмоведучих шин (електричних проводів).

Будучи встановленим на транспортні засоби, датчик успішно пройшов тести на надійність.

. Моделювання енергоємних накопичувачів гібридної силової установки

Широкий діапазон зміни розрядного струму є характерною особливістю роботи ТАБ встановлюються на електромобіль і гібридний автомобіль, що обумовлено впливом режимів навантаження, що визначаються імовірнісним характером впливу зовнішнього середовища.

Рішення проблеми ефективності електромобіля і гібридного автомобіля, як було показано раніше, прямо пов'язане з підвищенням ефективності комплексу ТАБ встановлюються на розглянуті автомобілі. Ефективність ТАБ залежить від цілого набору вихідних параметрів, що визначають експлуатаційні вимоги, а також залежить від комплексу конструкторсько-технологічних характеристик, закладених в пристрій при проектуванні і реалізованих у виробництві, який утворює групу вхідних параметрів. Зрозуміло, що визначення зв'язку між групами вхідних і вихідних параметрів для складного технічного пристрою, в сучасних умовах, має бути проведено з урахуванням вимог раціональності відповідного дослідницького процесу. Реалізація вимог раціональності можлива при використанні сучасних методів моделювання ТАБ. Найбільш широке поширення, у вирішенні задачі математичного моделювання ТАБ, отримала формула Пейкерта

$$I_p^n t_p = C, \quad (1.2)$$

де n показник ступеня і постійна C - знаходяться дослідним шляхом для кожного типу батареї;

I_p, t_p – струм і час розряду.

Ємність батареї при різних періодах розряду визначається за формулою

$$Q_I = Q(t_{pI}/t_p)^m \quad (1.3)$$

Найбільш загальний вигляд для всіх основних типів АКБ у формули залишкової ємності при розряді середніми і малими струмами

$$Q_I = (Q_{ном}/B)(t_{рном}/t_p)^m, \quad (1.4)$$

де B – константа, яка визначається експериментально.

Оскільки отримані результати апроксимації мають несуттєві відмінності, то можна відзначити, що: - для малих струмів розряду відносні похибки трьох моделей відрізняються незначно, тому доцільно користуватися формулою - Пейкерта; - для середніх і великих струмів найкращі результати забезпечує запропонована модель, а при розряді струмами всього діапазону – від мінімального до струму к.з, відносна похибка апроксимації по моделі не перевищує 1,15 %. Запропоновані моделі розрядних характеристик можуть бути використані для розрахунку масогабаритних параметрів як для електромобілей або гібридних автомобілів в цілому, так і для вибору ТАБ і комплексу силового електрообладнання.

Конденсаторні технології створення імпульсних джерел живлення знаходять все більше застосування в автомобільній промисловості. При цьому створення електросилових накопичувачів електростатичного типу

для електромобілів і гібридних автомобілів є вельми перспективним напрямком.

Одними з перших, використовувати ємнісні накопичувачі енергії (ЕНЕ) спільно з ТАБ для вирішення транспортних проблем. На відміну від традиційних конструкцій ТАБ, заряд яких триває протягом 6 - 8 годин, відповідний процес для ЕНЕ триває кілька хвилин.

Особливістю ЕНЕ є можливість організації в електромобілі або гібридному автомобілі інформаційної системи, що дозволяє проводити моніторинг енергетичного стану автомобіля в реальному масштабі часу. З цією метою на комбінації приладів встановлюється спеціальний інформаційний показник.

Таким чином, можна зробити первинний висновок про те, що застосування ЕНЕ на автомобілях з електричними технологіями забезпечує підвищення експлуатаційної ефективності за рахунок поліпшення зарядних процесів, а також інформативності управління.

В основу математичної моделі ємнісних накопичувачів були покладені результати проведених експериментальних досліджень. Алгоритм експериментальних випробувань ЕНЕ полягав в їх циклічній зарядці і розряді. Накопичувач заряджався від джерела постійного струму, а розряд здійснювався на постійне навантаження. Токи і напруги фіксувалися вимірювальними приладами.

Технічні вимоги до ємнісним накопичувачів енергії, як правило, включають такі основні пункти:

- накопичувач повинен витримувати необхідний термін розряду;
- напруга ємнісних накопичувачів енергії при повному заряді повинно в 2 – 3 рази перевищувати номінальну напругу двигуна;
- питома по масі енергія - не менше 20 тис. Дж/кг;
- максимальний саморозряд накопичувачів енергії не більше 20 % за добу;
- термін служби - не менше 10 років.

При реалізації завдання моделювання основних процесів електромобілів і гібридних автомобілів представлені методологічні інструменти проектування відповідних автомобілів: рівняння циклічного руху автомобілів; методика побудови топограм – багато параметрових характеристик двигуна внутрішнього згоряння; методологія моделювання енергоємних накопичувачів гібридної енергоустановки; проведено дослідження та моделювання бортових електросилових накопичувачів. В рамках вирішення відповідних завдань, за допомогою інструментів комп'ютерного моделювання, отримані результати щодо підвищення технічних характеристик ТАБ електромобілів і гібридних автомобілів працюють в комплексі з ЕНЕ. При дослідженні бортових електросилових накопичувачів виділені рівняння енергетичного балансу ЕНЕ. Проведено моделювання заряд-розрядних процесу ємнісного накопичувача енергії, що дозволило визначити напрямки роботи для оптимізації ККД відповідних комплексних енергетичних систем електромобіля і автомобіля з ГСУ. Запропоновані автором рівняння для розрахунку розрядних характеристик ТАБ і ЕНЕ дозволяють зробити обґрунтований вибір типу накопичувача енергії для електротранспортного кошти і вирішити комплексну задачу синтезу силової установки автомобіля.

1.2 Аналіз методів прогнозування залишкового ресурсу силової установки

Управління надійністю гібридних автомобілів є основною проблемою в системі обслуговування та ремонту автомобільного парку. Прогнозування технічного стану гібридних автомобілів забезпечує неприривність, точність та наукову обґрунтованість планування, підвищує оперативність та якість прийнятих рішень. Наряду с цим прогнозування впливає не тільки на планування, а і на інші функції управління (контроль, регулювання та інше). В цьому сенсі прогнозування

є одним із головних резервів розвитку адаптивних якостей системи управління роботоздатністю гібридних автомобілів, основою більш повного використання та потенційних можливостей.

У цій роботі обґрунтовано можливість розв'язання складної задачі - дати достовірну оцінку залишкового ресурсу силової установки гібридного автомобіля, що піддається під час експлуатації впливу складного комплексу зовнішніх факторів. Це завдання розв'язується шляхом спостереження за зміною в часі діагностичних параметрів, контролю навантажувально-швидкісного режиму гібридної силової установки, а також фізико-хімічних процесів, що спричиняють деградацію тягової акумуляторної батареї.

Екстраполяційний метод прогнозування має властивості універсальності, оскільки він абстрагований від фізичної природи об'єкта, не потребує знань його внутрішньої структури та функціональних зв'язків між вхідними та вихідними параметрами. Алгоритм прогнозування передбачає моніторинг лише одного діагностичного параметра, а це суттєвий недолік у непристосованості до моніторингу багаторежимних об'єктів. А режим роботи об'єкта (наприклад, частота обертання колінвалу) в моменти чергових замірів діагностичного параметра (наприклад, рівня витрати палива) суттєво впливає на результати вимірювань [2].

Статистичний метод прогнозування використовує масив даних, що відображають фактичний ресурс однотипних силових установок. Цей метод ґрунтується на узагальненні досвіду експлуатації аналогічних силових установок на надійність.

Метод ґрунтується на статистичному опрацюванні результатів спостережень, які визначають імовірність безвідмовної роботи на заданий період пробігу або часу заданої ймовірності безвідмовної роботи [3, 4], Такий метод прогнозування недоцільно використовувати для оцінки конкретної силової установки.

Причинно-наслідковий метод прогнозування можна вважати антиподом екстраполяційного. Цей метод передбачає реєстрацію конкретних умов роботи силової установки, тобто причини накопичення зносу сполучень [5,6]. Однак, метод не є універсальним, оскільки не для всіх видів експлуатаційних зносів доведено можливість застосування лінійного підсумовування пошкоджень. Обов'язковою умовою використання методу є отримання залежності інтенсивності спрацьовування сполучень гібридних агрегатів і механізмів силової установки від зовнішніх умов роботи.

Праксеологічний метод прогнозування передбачає кореляційний зв'язок між ресурсом силової установки, закладеним під час проектування та виготовлення, і кількістю роботи за час експлуатації. Як показник витраченого ресурсу розглядається корисна робота гібридної силової установки за час експлуатації транспортного засобу [6].

Системний метод прогнозування технічного стану гібридної силової установки розрахований на мінімальне число діагностичних параметрів. Недолік методу в тому, що для постановки прогнозу необхідне попереднє спостереження за об'єктом для формування часового ряду. Метод ефективний у разі монотонної зміни в часі діагностичного параметра [6,8].

Метод прогнозування за допомогою згорткової нейронної мережі розглядає поточний стан як вектор предикторів стану дефектів і обирає найбільш критичні з них. На виході визначаються ранги прогнозованих станів силової установки. Що більший ранг, то ймовірніше в прогнозний стан потрапить цей виріб із плином часу. Набір прогнозованих станів виробу спочатку знаходиться в базі знань експертним методом. За цими даними визначають кореляцію експертної оцінки з оцінкою нейронної мережі. [7,10].

Головними недоліками розглянутих методів є висока дисперсія прогнозів, відсутність універсальності, а також прийнятності за вартістю і

трудомісткістю способу одержання вихідних характеристик довговічності сполучень гібридної силової установки.

Даних про технічний стан транспортного засобу в загальному випадку недостатньо для ефективного прогнозу і прийняття правильного рішення. Необхідна апіорна інформація про зміни в часі впливів на гібридну силову установку від зовнішніх умов і технічного стану, про вплив цих умов на структурні і діагностичні параметри гібридного автомобіля, о залежності між структурними і діагностичними параметрами, а також про зміни діагностичного параметра в залежності від зовнішніх умов.

Можно визначити два основних контури зворотного зв'язку. Перший контур пов'язан з вироботкою статистичних даних на підставі конкретної апіорної інформації та прийнятої математичної моделі. Якщо отримане значення технічного стану ГСУ недостатно по причині неефективного прогнозування, то вступає в дію другий контур зворотного зв'язку, елементи якого уточнюють апіорну інформацію та корегують математичну модель залишкового ресурсу гібридної силової установки.

Таким чином, прогнозування залишкового ресурсу ГСУ є багато етаповим, навчальним процесом, який не повинен бути роз'єднаним відносно до результатів прогнозування, оскільки вони підпадають логічному аналізу і можуть відповідати для внесення відповідних змін в математичну модель залишкового ресурсу ГСУ.

Застосування методів прогнозування в період експлуатації гібридного автомобіля вирішує ряд важливих задач і дозволяє: визначити термін профілактичних робіт, а також визначити визначений період и час відмови ГСУ; оптимізувати програму визначення несправності в зв'язку з визначенням систем, в яких трапляється відмова; зменшити кількість обслугованого персоналу за рахунок автоматизації процесу прогнозування і технічний стан гібридного автомобіля на визначений період часу; визначити кількість запасних частин, розраховуючи число систем, в яких має

бути відмова на заданому інтервалі експлуатації автомобіля.

Вирішення поставлених задач слід виконувати за допомогою індивідуальних методів прогнозування залишкового ресурсу ГСУ, котрі розглядають визначення ресурсу систем та механізмів гібридного автомобіля виходячи із фактичного стану і умов експлуатації.

Таким чином, результат прогнозування є основою профілактичних заходів по технічному обслугованні гібридних автомобілів.

Індивідуальні методи прогнозування, використовуєми для визначення залишкового ресурсу агрегатів і вузлів автомобілів, відрізняються як по типу, так і по іншим признакам: по точності, по використовуємих математичним моделям і параметрам, по ступеню складності та інше.

Визначити значимість індивідуальних методів прогнозування залишкового ресурсу ГСУ можна оцінювати шляхом аналізу недоліків і переваг використаних підходів.

Використовуєми методи прогнозування можна розділити на дві групи:

1. Методи прогнозування, засновані на екстраполяції тенденції зміни технічного стану агрегатів і систем ГСУ. Такі методи слід назвати прямими.

2. Методи прогнозування, які визначають не тільки значення окремих параметрів, но також враховують вплив зовнішніх умов на гібридний автомобіль в цілому. Такі методи слід назвати системними.

Найбільш розроблені прямі методи прогнозування. Прогнозування цими методами засновано на переносі зміни технічного стану ГСУ, яка мала в минулому, на майбутнє. До них відносяться різні модифікації методів, які з'явилися в зв'язку з особливостями експлуатації гібридних автомобілів. Крім того, для використання прямих методів треба незначна кількість даних про наробітку та зміни технічного стану ГСУ. Ці методи мають більш якісними результатами при малом часі прогнозування, коли

не передбачається значні зміни в зовнішніх умовах роботи гібридного автомобіля.

Чисто часова екстраполяція, яку дає прямий метод, дуже неточна, оскільки математична модель має тільки зовнішню формальну картину загального впливу всіх факторів на зношування ГСУ і не має уяви про характер взаємодії їх причин.

Для оцінки прямих методів прогнозування рішучим є використання на основі теорії відповідних процесів та внутрішніх закономірностей.

Системні методи дозволяють розроблювати з відносно високу ступінь надійності прогнозування комплексних процесів, на які впливають безкінцеве число факторів. При прогнозуванні залишкового ресурсу ГСУ треба завжди мати з такими складними комплексними системами, агрегатами, в яких є інтердепенденції, тобто взаємодійні залежності.

Велике значення системні методи мають в тому, коли системний аналіз прогнозуємих процесів, зовнішніх умов дозволяє прогнозно володіти випадковими процесами. Визначення динамічного характеру поведінки систем дозволяє враховувати при прогнозуванні не тільки зовнішній вплив, але і внутрішні. Ці впливи визначають ряд взаємопов'язаних внутрішніх можливостей, які реагують системою в цілому, а окремі елементи цієї системи випадково виконують ту чи іншу можливість. Отже, за допомогою системного методу є можливість розробляти прогнози, які враховують внутрішні і зовнішні розподіли випадковостей. Цей метод веде до визначення вектору стану, розподілу веогідності.

Значний інтерес при системному підході до визначення залишкового ресурсу ГСУ є методи та моделі адаптивного прогнозування [7].

Відміна адаптивних методів від інших прогнозних моделей в тому, що вони вказують текучу властивість ряду і мають можливість враховувати еволюцію динамічних характеристик вивчаємих процесів, тобто йде подальше корегування параметрів моделі, їх адаптація до нових,

непреривно змінюючихся зовнішніх умов роботи ГСУ.

Основні можливості адаптивних методів наступні:

адаптивне прогнозування не потребує значної інформації і базується на інтенсивному аналізі інформації, яка міститься в окремих часових рядах;

модель, яка описує структуру параметра та швидкість його зміни має чітку уяву і просту математичну форму;

однорідність часових рядів та їх зв'язок має відображення в адаптивній еволюції параметрів або структури моделі.

У джерела адаптивного направлення лежить проста модель експоненціального сглажування. Модифікації та узагальнення цієї моделі привели до появи цілого сімейства адаптивних моделей з різними властивостями.

Недоліком системних методів є то, що ефективність прогнозування залежить від мінімуму інформативних параметрів.

2. ПРОГНОЗУВАННЯ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ГІБРИДНОЇ СИЛОВОЇ УСТАНОВКИ

2.1 Модель оцінки технічного стану гібридної силової установки

Однією із головних задач, виникаючих під час експлуатації гібридного автомобіля є підтримка ефективності та надійності всіх його систем та попередження відмов. Ця задача може бути вирішена на підставі оцінки силової установки гібридного автомобіля.

Нейромережева модель оцінки технічного стану силової установки дозволяє реалізовувати ресурсні можливості гібридних автомобілів виключно випадках їх передчасного відправлення в ремонт, зменшити кількість простоїв при технічному обслугованні, більш раціонально планувати режими роботи та визначення оптимального терміну експлуатації конкретного автомобіля, що знижує витрати на його обслуговування. Знання технічного стану силової установки необхідні для створення ремонтної бази та обґрунтування потреби в запасних частинах.

В теперішній час трудовитрати діагностування складають 40 % загальної трудовитрати технічного обслуговування. Використання стаціонарних та переносних діагностичних засобів пов'язано з операціями підключення, відладдя та зняття датчиків та комунікаційної апаратури, що веде до значних витрат на допоміжні роботи, які складають майже 80...85 % часу повного циклу діагностування [4].

Дослідження [5] вказують на те, що використання бортових діагностичних систем дозволяє знизити трудовитрати діагностування на 35 % за рахунок зменшення кількості підготовчих заключних операцій. Такі системи враховують дані датчиків на різних режимах роботи при експлуатації автомобіля, відстежують зміни параметрів за таблицями, які зберігаються в пам'яті пристрою та інформують водія про появлення несправності за допомогою багатофункціональних індикаторів на

приладній панелі. Після ідентифікації збережених в пам'яті кодів помилок та аналіз додаткових даних оператором приймається рішення про наступні дії.

Головними труднощами при використанні бортових систем є правильна інтерпретація коду та визначення правильної причини появи несправності, що потребує високої кваліфікації оператора, а також складності розробки, виробництва та збільшення кількості використаних датчиків та збільшення мережі проводів [8].

ГСУ як керована система може ідеалізуватися настільки, що в кожен фіксований момент часу спостереження $t = t'$ на інтервалі $T = \{t | t_s \leq t \leq t_f\}$, $t' \in T$ його властивості можуть бути описані двома дійсними числами: $\omega(t')$ – поточна кутова швидкість обертання провідних коліс; $\theta_{TAB}(t')$ – стан накопичувача енергії (ступінь зарядженості тягової акумуляторної батареї). Розглядатимемо дані величини як компоненти вектору стану системи $\mathbf{x} = \mathbf{x}(t) = [\omega(t), \theta_{TAB}(t)]^T$ у момент часу t' .

Множина всіх можливих станів в різні моменти часу $t \in T$ утворюють двовимірний простір станів \mathbf{X} :

$$\mathbf{x} \in \mathbf{X} \subset \mathbb{R}_+^2, \forall t \in T, \mathbf{X} = \begin{bmatrix} 0 \leq \omega \leq \omega_{\max} \\ 0 \leq \theta_{TAB} \leq 1 \end{bmatrix}, \quad (2.1)$$

де ω_{\max} – максимальна кутова швидкість обертання ведучих коліс.

На множині \mathbf{X} можна виділити підмножину експлуатаційних станів:

$$\mathbf{X}_{ex} = \begin{bmatrix} 0 \leq \omega \leq \omega_{ex.\max} \\ \theta_{ex.\min} \leq \theta_{TAB} \leq \theta_{ex.\max} \end{bmatrix} \subset \mathbf{X}. \quad (2.2)$$

Вихід стану системи за межі \mathbf{X}_{ex} небажаний, хоча і не веде до аварійної ситуації.

Розглядатимемо автомобіль з ГСУ як багатовимірний нелінійний стаціонарний об'єкт виду:

$$\begin{cases} \dot{\mathbf{x}} = f(\mathbf{x}, \mathbf{u}, \xi) \\ \mathbf{y} = h(\mathbf{x}, \mathbf{u}) \end{cases}, \quad (2.3)$$

де \mathbf{u} – вектор управління $\mathbf{u} = [\beta_D, \beta_M, \beta_T, \gamma]^T$;

β_D – сигнал управління потужністю ДВЗ;

$\beta_D = -1$ відповідає відключеному стану ДВЗ;

β_M – сигнал управління допоміжною силовою установкою (електромагнітним моментом ВЕД);

β_T – сигнал управління системою гідравлічного гальмування;

γ – передавальне відношення трансмісії автомобіля.

ξ – вектор збурюючих впливів $\xi = \xi(t) = [\alpha(t), \vartheta_0(t)] \in \mathbb{R}^2 \quad \forall t \in T$;

α – ухил дороги;

ϑ_0 – швидкість зустрічного вітру;

\mathbf{y} – вектор виходу: $\mathbf{y} = \mathbf{y}(t) = [V(t), G_T(t), E_T(t)]^T \in \mathbf{Y} \subset \mathbb{R}_+^3 \quad \forall t \in T$;

V – швидкість автомобіля;

G_T – годинна витрата пального ДВЗ;

$E_T = f_T(C_{NOx}, C_{CO}, C_{HC})$ – ступінь токсичності відпрацьованих газів ДВЗ, яка є функцією годинної емісії токсичних компонентів;

C_{NOx} , C_{CO} , C_{HC} – годинна емісія оксидів азоту, оксиду вуглецю і вуглеводнів відповідно;

$f(\square)$ і $h(\square)$ – відомі безперервні або кусочно-безперервні вектор-функції векторних аргументів, визначені на відповідних множинах.

Вважаємо, що дії, що управляють, мають бути обмежені, тобто

$$\mathbf{u} \in \mathbf{U} \subset \mathbb{R}^4 \quad \forall t \in T$$

$$\mathbf{U} = \begin{bmatrix} \beta_D = -1, & 0 \leq \beta_D \leq 1 \\ -1 \leq \beta_M \leq 1 \\ 0 \leq \beta_T \leq 1 \\ \gamma \in \{\gamma_i\}, i = \overline{1,5} \end{bmatrix}. \quad (2.4)$$

Вектор управління може бути заданий як програмне управління:

$$\mathbf{u} = \mathbf{u}(t) = [\beta_D(t), \beta_M(t), \beta_T(t), \gamma(t)]^T$$
 або у вигляді координатного управління:
$$\mathbf{u} = \mathbf{u}(\mathbf{x}) = [\beta_D(\mathbf{x}), \beta_M(\mathbf{x}), \beta_T(\mathbf{x}), \gamma(\mathbf{x})]^T.$$

Компоненти вектору управління в значній мірі визначаються типом ГСУ У ряді випадків до складу вектору управління може бути включено керуючий вплив муфту зчеплення β_S . При послідовно-паралельній схемі побудови ГСУ, що використовує планетарний механізм для розділення потоку потужності, відсутнє управління передавальним відношенням трансмісії ДВС γ . При цьому додається сигнал управління стартер-генератором β_G . В деяких випадках присутні керуючі впливи на багатоступінчатий планетарний знижуючий редуктор тягового електроприводу, стрічкове гальмо ланок планетарного механізму і так далі.

Математична модель ДВЗ повинна задовольняти ряду вимог:

- вихід моделі винен максимально точно, згідно вибраній метриці, відповідати характеристикам ДВЗ, що належать області допустимих експлуатаційних режимів, при одних і тих же вхідних сигналах;
- рівень складності моделі має бути прийнятним з погляду її використання при вирішенні оптимізаційної задачі;
- математичні перетворення, використовувані при побудові моделі, повинні допускати ефективну реалізацію засобами системи комп'ютерної математики MATLAB.

Процес ідентифікації повинен спиратися на експериментально отримані швидкісні і навантажувальні характеристики ДВЗ, забезпечувати простоту налаштування моделі на конкретний тип двигуна, мати достатню перешкодозахищеність, бути автоматичним або автоматизованим.

Математичні моделі ДВЗ у вигляді систем диференціальних рівнянь, отриманих на основі аналізу термодинамічних процесів в камері згорання, впускному і випускному колекторах, особливостей взаємодії систем

сумішоутворення і запалювання, кінематичних зв'язків між різними вузлами і агрегатами і так далі виявляються надзвичайно складними і громіздкими [7- 9]. Лінеаризація даних рівнянь [1, 9] призводить до суттєвого зростання нев'язок виходів моделі і об'єкту при необхідності використовувати модель в широкому діапазоні експлуатаційних режимів ДВЗ:

$$\begin{cases} \mathbf{N}_{21} = 2 \cdot \left(1 + \exp \left(-2 \cdot \left(\mathbf{W}_{21} \cdot [\bar{\omega}_{KV}, \bar{M}_{DVS}]^T + \mathbf{B}_{21} \right) \right) \right) - 1 \\ \mathbf{N}_{22} = 2 \cdot \left(1 + \exp \left(-2 \cdot \left(\mathbf{W}_{22} \cdot \mathbf{N}_{21} + \mathbf{B}_{22} \right) \right) \right) - 1 \\ [\bar{C}_{NOx}, \bar{C}_{CO}, \bar{C}_{HC}]^T = \mathbf{W}_{23} \cdot \mathbf{N}_{22} + \mathbf{B}_{23} \end{cases}, \quad (2.5)$$

де \mathbf{N}_{2i} – вектори виходів нейронів i -го шару, $i = 1, 2$;

\mathbf{W}_{2i} – матриці вагових коефіцієнтів нейронів i -го шару, $i = \overline{1, 3}$;

\mathbf{B}_{2i} – вектори зсувів нейронів i -го шару, $i = \overline{1, 3}$;

Денормування вихідного сигналу нейронної мережі здійснюється згідно виразу:

$$\begin{bmatrix} C_{NOx} \\ C_{CO} \\ C_{HC} \end{bmatrix} = 0,5 \cdot \left(\begin{bmatrix} \max \{C_{NOx}\} \\ \max \{C_{CO}\} \\ \max \{C_{HC}\} \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} \min \{C_{NOx}\} \\ \min \{C_{CO}\} \\ \min \{C_{HC}\} \end{bmatrix} \right) * \left(\begin{bmatrix} \bar{C}_{NOx} \\ \bar{C}_{CO} \\ \bar{C}_{HC} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix} \right) + \begin{bmatrix} \min \{C_{NOx}\} \\ \min \{C_{CO}\} \\ \min \{C_{HC}\} \end{bmatrix}, \quad (2.6)$$

де $\min \{C_{NOx}\}$, $\min \{C_{CO}\}$, $\min \{C_{HC}\}$, $\max \{C_{NOx}\}$, $\max \{C_{CO}\}$, $\max \{C_{HC}\}$ – відповідно мінімальні і максимальні значення множин $\{C_{NOx.i}\}$, $\{C_{CO.i}\}$ і $\{C_{HC.i}\}$, $i = \overline{1, N_{ex.2}}$.

Регульовальна характеристика вибраного двигуна, відповідно до якої відбувається обмеження максимальних оборотів КВ при низькому навантаженні, моделюється за допомогою відображення $\mathbf{F}_{DVS.3}$

$$M_{DVS}(\tilde{M}_{DVS}, \omega_{KV}) = \min(\tilde{M}_{DVS}, M_{DVS.p}(\omega_{KV})),$$

$$M_{DVS.p}(\omega_{KV}) = k_{DVS.p1} \cdot \omega_{KV} + k_{DVS.p0} \quad (2.7)$$

де $k_{DVS.p0}$, $k_{DVS.p1}$ – параметри регулювальної характеристики ДВЗ.

Тепер задача структурної ідентифікації моделі ДВС може мати параметри, тобто різні структури можуть кодуватися вектором структурних параметрів \mathbf{D}_{DVS}

$$\mathbf{F}_{DVS} = \langle \mathbf{D}_{DVS}, \mathbf{P}_{DVS} \rangle \quad (2.8)$$

В даному випадку елементами вектору \mathbf{D}_{DVS} є кількості нейронів в прихованих шарах ШНМ $\mathbf{F}_{DVS.1}$ і $\mathbf{F}_{DVS.2}$, які визначають розмірності відповідних матриць вагових коефіцієнтів і зміщень нейронів $\mathbf{D}_{DVS} = \langle \mathbf{D}_{DVS.1}, \mathbf{D}_{DVS.2} \rangle$ [5,7]. У свою чергу, елементами вектору \mathbf{P}_{DVS} невідомих параметрів моделі є елементи матриць вагових коефіцієнтів і зміщень нейронів ШНМ $\mathbf{F}_{DVS.1}$ і $\mathbf{F}_{DVS.2}$, а також параметри регулювальної характеристики $k_{DVS.p0}$ і $k_{DVS.p1}$: $\mathbf{P}_{DVS} = \langle \mathbf{P}_{DVS.1}, \mathbf{P}_{DVS.2}, \mathbf{P}_{DVS.3} \rangle$.

Вважатимемо, що в результаті діагностування ДВЗ була отримана множина точок $\{M_{DVS.i}, \omega_{KV.i}, \beta_{D.i}\}$, $\{G_{T.i}, \omega_{KV.i}, \beta_{D.i}\}$, $i = \overline{1, N_{ex.1}}$ і $\{C_{NOx.j}, M_{DVS.j}, \omega_{KV.j}\}$, $\{C_{CO.j}, M_{DVS.j}, \omega_{KV.j}\}$, $\{C_{HC.j}, M_{DVS.j}, \omega_{KV.j}\}$, $j = \overline{1, N_{ex.2}}$, які є репрезентативною вибіркою нормативних даних і достатньо точно відображають поведінку швидкісних характеристик ДВЗ, показників його економічності і токсичності ВГ при $\omega_{KV} \in [\omega_{KV.min}, \omega_{KV.max}]$, $\beta_D \in [0, 1]$.

Для нейронної мережі $\mathbf{F}_{DVS.1} = \langle \mathbf{D}_{DVS.1}, \mathbf{P}_{DVS.1} \rangle$ функція нев'язку виходів моделі і об'єкту $\psi_{DVS.1}$ в i -й точці експериментальних характеристик може бути визначена таким чином:

$$\begin{cases} \psi_{DVS.1}(i, \mathbf{D}_{DVS.1}, \mathbf{P}_{DVS.1}) = (M_{DVS.i} - y_{11})^2 + (G_{T.i} - y_{12})^2 \\ [y_{11}, y_{12}]^T = \mathbf{F}_{DVS.1}(\omega_{KV.i}, \beta_{D.i}, \mathbf{D}_{DVS.1}, \mathbf{P}_{DVS.1}) \end{cases} \quad (2.9)$$

Задача параметричної ідентифікації нейронної мережі $\mathbf{F}_{DVS.1}$ може бути зведена до задачі пошуку мінімуму цільового функціонала вигляду:

$$J_{DVS.1}(\mathbf{D}_{DVS.1}, \mathbf{P}_{DVS.1}) = \frac{1}{N_{ex.1}} \cdot \sum_{i=1}^{N_{ex.1}} \psi_{DVS.1}(i, \mathbf{D}_{DVS.1}, \mathbf{P}_{DVS.1}) \rightarrow \min. \quad (2.10)$$

Для нейронної мережі $\mathbf{F}_{DVS.2}$ відповідно можна записати:

$$\begin{cases} \psi_{DVS.2}(j, \mathbf{D}_{DVS.2}, \mathbf{P}_{DVS.2}) = (C_{NOx.j} - y_{21})^2 + (C_{CO.j} - y_{22})^2 + (C_{HC.j} - y_{23})^2; \\ [y_{21}, y_{22}, y_{23}]^T = \mathbf{F}_{DVS.2}(\omega_{KV.j}, M_{DVS.j}, \mathbf{D}_{DVS.2}, \mathbf{P}_{DVS.2}) \end{cases}; \quad (2.11)$$

$$J_{DVS.2}(\mathbf{D}_{DVS.2}, \mathbf{P}_{DVS.2}) = \frac{1}{N_{ex.2}} \cdot \sum_{j=1}^{N_{ex.2}} \psi_{DVS.2}(j, \mathbf{D}_{DVS.2}, \mathbf{P}_{DVS.2}) \rightarrow \min. \quad (2.12)$$

Якщо параметри $\mathbf{P}_{DVS.3} = [k_{p0}, k_{p1}]^T$ регулювальної характеристики $\mathbf{F}_{DVS.3}$ задані, ідентифікація математичної моделі ДВЗ зводиться до визначення структури і параметрів нейронних мереж $\mathbf{F}_{DVS.1}$ и $\mathbf{F}_{DVS.2}$

$$\begin{aligned} \langle \mathbf{D}_{DVS}, \mathbf{P}_{DVS} \rangle &= \langle [\mathbf{D}_{DVS.1}, \mathbf{D}_{DVS.2}], [\mathbf{P}_{DVS.1}, \mathbf{P}_{DVS.2}, \mathbf{P}_{DVS.3}] \rangle = \\ &= \begin{cases} \arg \min_{\mathbf{D}_{DVS.1}, \mathbf{P}_{DVS.1}} J_{DVS.1}(\mathbf{D}_{DVS.1}, \mathbf{P}_{DVS.1}) \\ \arg \min_{\mathbf{D}_{DVS.2}, \mathbf{P}_{DVS.2}} J_{DVS.2}(\mathbf{D}_{DVS.2}, \mathbf{P}_{DVS.2}) \end{cases}. \end{aligned} \quad (2.13)$$

Для вирішення ідентифікаційної задачі можуть бути використані відомі методи навчання нейронних мереж [9, 10]. Одним з таких методів, який показав свою високу ефективність при рішенні даної задачі, є алгоритм SCG (англомовне скорочення scaled conjugate gradient algorithm, що асоціюється з назвою даного алгоритму в ППП Neural Network Toolbox), запропонований Моллером (Moller) [6, 8]. Цей алгоритм об'єднує ідеї методу зв'язаних градієнтів з квазін'ютоновими методами, і, зокрема, використовує підхід, реалізований в алгоритмі LM (Levenberg-Marquardt optimization) Льовенберга, – Марквардта [1,5]. Алгоритм SCG може зажадати більшого числа ітерацій, чим інші алгоритми методу зв'язаних

градієнтів, але при цьому кількість обчислень на кожній ітерації істотно скорочена.

Одна з найбільш серйозних труднощів, що виникають при навчанні ШНМ, пов'язана з явищем перенавчання (overfitting). Воно полягає в тому, що при мінімізації вибраного функціонала мережа мінімізує помилку на деякій обмеженій навчальній множині, що може привести до нестійкості результатів поза даною множиною. При цьому здібність мережі до узагальнення накопичених знань на вхідні сигнали, що не належать навчальній множині, на певному етапі навчання перестає зростати і навіть може погіршуватися [3,5].

У приведеному випадку [10] затверджується, що перенавчання може наступити у тому випадку, коли кількість точок множини, на якій проводиться навчання нейронної мережі $N_{ex.i} < 30 \cdot k_{INS.p}$, де $k_{INS.p}$ – кількість вільних параметрів мережі. Разом з тим необхідно враховувати, що окрім структури ШНМ і об'єму навчальної множини, на ефект перенавчання впливає також характер залежності, що апроксимується, і розподіл точок навчальної множини.

Методика оцінки помилки узагальнення, що базується на використанні міри Вапника-Червоненкиса, яка відображає рівень складності ШНМ і тісно пов'язана з кількістю синаптичних зв'язків, що містяться в ній, викладена в [7, 8]. Однак сьогодні метод точного визначення міри Вапника-Червоненкиса не відомий, що утрудняє оцінку помилки узагальнення з метою управління навчанням мережі.

Для подолання ефекту перенавчання множина вихідних даних може бути розділена на дві підмножини: навчальну (training set) і контрольну (validation set). Навчання мережі здійснюється з використанням навчальної підмножини. Контрольна підмножина використовується тільки для контролю помилки навчання. На початковій фазі навчання помилка для контрольної підмножини зменшується так само, як і для навчальної підмножини [7,12]. На певному етапі зменшення помилки для контрольної

підмножини припиняється або вона починала зростати. У цей момент необхідно переривати процедуру навчання для запобігання явищу перенавчання.

Якщо помилка для контрольної підмножини значно перевищує помилку для навчальної підмножини можна зробити висновок, що вихідні дані непоказні, тобто недостатньо точно відображають поведінку характеристик ДВЗ.

2.2 Прогнозування залишкового ресурсу гібридної силової установки

Витрати енергії (палива, електроенергії) визначається вантажно-швидкісним режимом. На цій підставі енергетичні витрати визначають при заданих умовах експлуатації ресурс силової установки гібридного автомобіля. Ефективність витрати ресурсу силової установки гібридного автомобіля оцінюється за критерієм показника ресурсу. Крім того, нейромережева модель оцінки технічного стану силової установки гібридного автомобіля інваріантна різним силовим установкам.

Технічний стан силової установки гібридного автомобіля залежить від вантажно-швидкісного режиму, а з іншого боку, витрата енергії (палива, електроенергії) також визначається вантажно-швидкісним режимом. При постійній швидкості руху взаємозв'язок між технічним станом силової установки та енергетичними витратами залежить від крутного моменту на колеса. Між технічним станом силової установки, енергетичними витратами та крутним моментом на колесах є пряма залежність.

Така залежність має підставу на наступне: при експлуатації гібридних автомобілів в конкретних умовах технічний стан силової установки за даний період часу можна оцінювати за енергетичними витратами. Сумарна витрата енергії відповідає пробігу гібридного

автомобіля, при якому буде повна витрата ресурсу силової установки. Отже, множина пробігу гібридного автомобіля, при якому силова установка потребує ремонту, на витрату енергії в кВт-год на 100км пробігу є сумарна витрата енергії. Така величина для конкретної силової установки є постійна. При експлуатації гібридного автомобіля технічний стан силової установки зменшується на стільки, на скільки збільшується витрата енергії. Таку закономірність покладено в основу оцінки технічного стану силової установки гібридного автомобіля за сумарними витратами енергії.

Технічний стан ГСУ залежить від вантажно-швидкісного режиму, з іншого боку, витрата енергії (палива і електроенергії) також визначається вантажно-швидкісним режимом. При постійному швидкісному режимі взаємозв'язок між технічним станом силової установки і енергетичними затратами в основному залежить від крутного моменту на колінчастому валу. Між технічним станом силової установки, енергетичними затратами і крутним моментом на колінчастому валу існує прямий зв'язок.

Такий взаємозв'язок дає підставу висловити наступне: при експлуатації гібридних автомобілів в певних умовах технічний стан силової установки за даний період часу можна оцінювати по енергетичним витратам. Сумарна витрата палива відповідає пробігу автомобіля, при якому настане повне вичерпання ресурсу силового. Отже, пробігу автомобіля, при якому силовому агрегату буде потрібно капітальний ремонт, на витрату палива в л/100 км пробігу є сумарний витрата палива. Ця величина для конкретного силового агрегату буде постійною. При експлуатації автомобіля ресурс двигуна і трансмісії зменшується на стільки, наскільки збільшується витрата палива. Ця закономірність і кладеться в основу оцінки ресурсу силового агрегату по загальній витраті палива.

Оцінка ресурсу силових агрегатів транспортних машин по витраті палива і швидкості руху має величезне значення для цілей планування і управління технічної служби АТП. Витрата палива і швидкості руху є

енергетичними показниками використання транспортних машин в конкретних умовах експлуатації. З представлених вище рівнянь слід, що зі зменшенням ресурсу силової установки і підвищенням швидкості руху спостерігається збільшення витрати палива силових агрегатів транспортних машин.

Тому всі заходи спрямовані на зниження витрати палива і підвищення середніх швидкостей руху є одночасно дієвими і на підвищенні ресурсу силової установки гібридних транспортних машин. Ефективність витрачання ресурсу силової установки гібридних транспортних машин можна оцінити критерієм показника ресурсу, який визначається за виразом:

$$\left. \begin{aligned} K_p &= \frac{(Q_\phi + 0,091 \cdot E_{AKB}) \cdot V_a}{0,35 \cdot Q_{\max} \cdot V_{\max}} n_{pu} V_a \leq 0,3 \cdot V_{\max} \\ K_p &= \frac{0,35 \cdot Q_\phi \cdot V_{\max}}{(Q_\phi + 0,091 \cdot E_{AKB}) \cdot V_a} n_{pu} V_a > 0,3 \cdot V_{\max} \end{aligned} \right\}, \quad (2.14)$$

де Q_ϕ , Q_{min} – відповідно фактичний і мінімальний витрата палива гібридного автомобіля в л/100 км пробігу;

– відповідно максимальна та середня швидкість руху автомобіля; км/год;

– ємність акумуляторної батареї, кВт-год.

Фактична витрата пального (Q_ϕ) визначається за виразом, л/100 км:

$$Q_\phi = \frac{100 \cdot g_e \cdot N_e}{V_a \rho_T}, \quad (2.15)$$

де g_e – питома витрата пального, кг/кВт-год;

ρ_T – питома вага палива, г/г;

N_e – ефективна потужність ДВЗ, кВт.

Питома витрата палива має мінімум на вузькому діапазоні тягово-швидкісних режимів ДВЗ гібридного автомобіля. В даному випадку питому витрату палива слід приймати величиною постійною, оскільки ДВЗ працює тільки в вузькому вантажно-швидкісному режимі.

Ефективна потужність ДВЗ (N_e) визначається так, кВт:

$$N_e = \frac{M_{кр} \cdot n}{900}, \quad (2.16)$$

де $M_{кр}$ – крутний момент ДВЗ, кН;

n – швидкість обертання колінчастого валу ДВЗ, хв.

Крутний момент ДВЗ ($M_{кр}$) можна визначити через продуктивність паливних форсунок наступним чином, Н м:

$$M_{кр} = C \cdot n \cdot T_B, \quad (2.17)$$

де $C=6,9 \cdot 10^{-3} V X_{ц}$;

V – продуктивність паливної форсунки, мл;

$X_{ц}$ – кількість циліндрів ДВЗ;

T_B – час впорскування палива форсункою, с.

Ємність тягової акумуляторної батареї визначається величинами напруги U і струму I , а також залежить від температури зовнішнього середовища, кВт·год.

$$E_{АКБ} = U \cdot I (0,85 + 0,005 \cdot t_B) \cdot 10^{-3} = 0, \quad (2.18)$$

де t_B – температура зовнішнього середовища, °С.

На підставі вище наведеного коефіцієнт оцінки технічного стану гібридної силової установки має таку залежність:

$$K_p = A \cdot [B \cdot V_a \cdot n^2 \cdot T_B + 9,1 \cdot 10^{-4} \cdot U \cdot I \cdot (0,85 + 0,05 \cdot t_B)] \cdot V_a, \quad (2.19)$$

де $A=0,35 \cdot Q_{min} \cdot V_{max}$;

$B=12,8 \cdot 10^{-6} \cdot g_e \cdot V \cdot X_{ц}$

Зменшення витрат палива і підвищення швидкості руху транспортної машини, в результаті збільшують ресурс силової установки гібридного автомобіля. В умовах високої вартості експериментальних даних, їх обмеженої кількості, високої рівнем шуму, неповноти, а часто і суперечливості, у багатьох випадках найкращими виявляються моделі на основі штучних нейронних мереж (ІНС) [7, 8].

Для синтезу нечіткої системи ідентифікації залежності $P_k = f(I_{st}, U_{ab}, n_{kv}, T_m)$ будемо використовувати метод двоетапної ідентифікації нелінійної залежності Ротштейна. Згідно даного методу, спочатку формується база нечітких правил виду «Якщо щось» (структурна ідентифікація), після чого виконується параметрична ідентифікація залежності шляхом знаходження таких ваг правил і параметрів функцій належності нечітких термів, які мінімізують відхилення результатів нечіткого моделювання від експериментальних даних.

Базу нечітких правил складено на основі слабоформалізованих емпіричних знань про роботу ДВС при різних ступенях технічного стану.

У табл.2.1. приведена отримана база, яка містить 127 правил. Для подолання ефекту перенавчання безліч вихідних даних може бути розділене на дві підмножини: навчальна (training set) і контрольна (validation set). Навчання мережі здійснюється з використанням навчальної підмножини. Контрольна підмножина використовується тільки для контролю помилки навчання. На початковій фазі навчання помилка для контрольної підмножини зменшується так само, як і для навчальної підмножини. На певному етапі зменшення помилки для контрольної підмножини припиняється або вона починала зростати. У цей момент необхідно перервати процедуру навчання для запобігання явища перенавчання.

Якщо помилка для контрольної підмножини значно перевищує помилку для навчальної підмножини, можна зробити висновок, що вихідні дані непередставницькі.

Навчання ІНС виконувалося на навчальній вибірці, що містить 208 вимірювань. У свою чергу контрольна вибірка містила 105 вимірювань. Тривалість навчання становила 525 епох. Результати функціонування навченої ІНС представлено на (рис.2.2).

. Таблица 2.1 – База правил нечітких продукцій

I_{st}	n_{kv}	T_m	L			LM			M			MB			B		
			L	M	B	L	M	B	L	M	B	L	M	B	L	M	B
			U_{ab}														
B	B	B	B	B	B	B	B	MB	B	B	MB	MB	B	M	MB	B	
	M	B	B	B	MB	B	B	MB	B	B	MB	MB	B	M	MB	B	
	L	B	B	B	MB	B	B	MB	MB	B	MB	MB	B	M	MB	MB	
MB	B	MB	B	B	MB	MB	B	MB	MB	B	M	MB	MB	M	MB	MB	
	M	MB	MB	B	M	MB	B	M	MB	MB	M	MB	MB	M	M	MB	
	L	MB	MB	B	M	MB	MB	M	M	MB	M	M	MB	LM	M	MB	
M	B	M	MB	MB	M	M	MB	M	M	MB	M	M	MB	LM	M	M	
	M	M	MB	MB	M	M	MB	M	M	MB	M	M	MB	LM	LM	M	
	L	M	M	MB	M	M	MB	M	M	MB	LM	M	M	LM	LM	M	
LM	B	LM	M	MB	LM	M	M	LM	M	M	LM	LM	M	LM	LM	LM	
	M	LM	M	M	LM	LM	M	LM	LM	M	LM	LM	M	L	LM	LM	
	L	LM	LM	M	LM	LM	M	LM	LM	M	L	LM	LM	L	L	LM	
L	B	LM	LM	M	L	LM	M	L	LM	LM	L	L	LM	L	L	L	
	M	L	LM	M	L	LM	M	L	L	LM	L	L	LM	L	L	L	
	L	L	LM	M	L	LM	LM	L	L	LM	L	L	L	L	L	L	

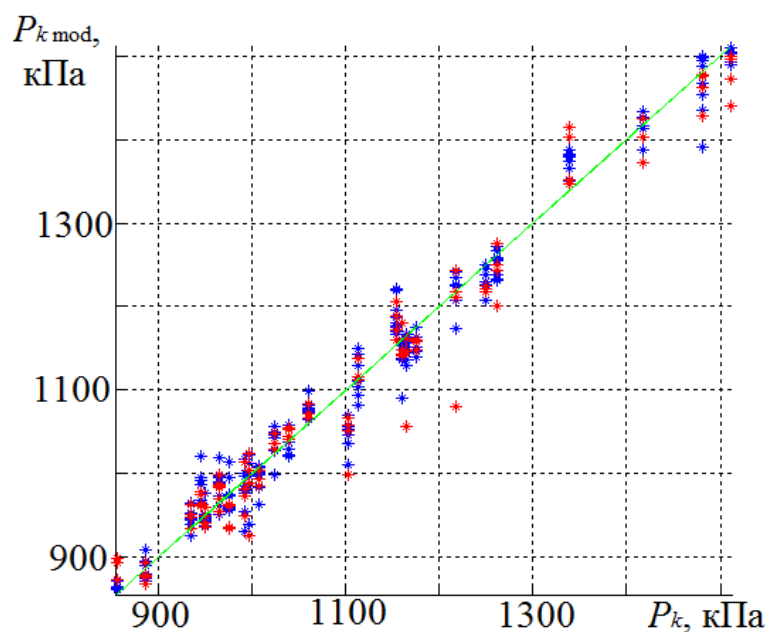


Рисунок 2.2.- Результати функціонування штучної нейронної мережі

В результаті навчання ІНС середньоквадратичне відхилення помилки на контрольній вибірці досягло значення в 0,012 (5,41 %). Це істотно краще за показники помилки нечіткого моделювання.

Процес зміни технічного стану силової установки гібридного автомобіля тече повільно та відрізняється конкретним напрямком. Це дозволяє рахувати цей процес квазидетермінованим та описувати його детермінованими функціями часу.

Виконана формальна постановка оптимізаційної задачі діагностування ГСУ при векторному функціоналі якості управління. Компонентами векторного функціоналу прийнято критерії точності управління, використання енергії ТАБ, ступеня токсичності відпрацьованих газів. В основі синтезу математичної моделі діагностики технічного стану ГСУ лежить апроксимація нейронними мережами характеристик ДВЗ, які базуються на діагностичних даних випробувань ДВЗ.

Отримано модель оцінки технічного стану ГСУ на базі енергетичних витрат. Розглянуті особливості діагностики технічного стану ДВЗ ГСУ, які відображають швидкісні характеристики ДВЗ і показники його економічності та токсичності відпрацьованих газів.

3. ДОСЛІДЖЕННЯ ЗМІНИ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ГІБРИДНОЇ СИЛОВОЇ УСТАНОВКИ

3.1 Дорожні випробування гібридної силової установки

За результатами проведених дорожніх випробувань на автомобілі Toyota Prius, які проводились на кафедрі технічної експлуатації та сервісу автомобілів імені М.Я. Говорущенка, було визначено наступне:

– Режим руху на електротязі при рівномірному русі і зарядженому акумуляторі: визначити швидкість руху автомобіля при якій включається ДВЗ, потужність електродвигуна при включенні ДВЗ, потужність рециркуляції енергії через генератор. Дані параметри необхідні для з'ясування тієї межі потужності ДВЗ яка нераціональна при рівномірному русі.

– Режим руху на електротязі на крутий підйом. Необхідно визначити максимальну потужність електродвигуна при якій включається ДВЗ, незалежно від швидкості руху. Даний параметр також необхідний для визначення меж використання ДВЗ.

– Спільна робота електродвигуна і ДВЗ при рівномірному русі. Визначення синергетичного впливу електросилових агрегатів в процентному співвідношенні залежно від швидкості руху і запасу енергії в акумуляторі. Вимірюються потужність електродвигуна, обороти ДВЗ, витрата палива, швидкість руху, рециркуляція енергії генератора.

– Визначається яка величина потужності йде на заряд АКБ, впливає на питому витрату палива.

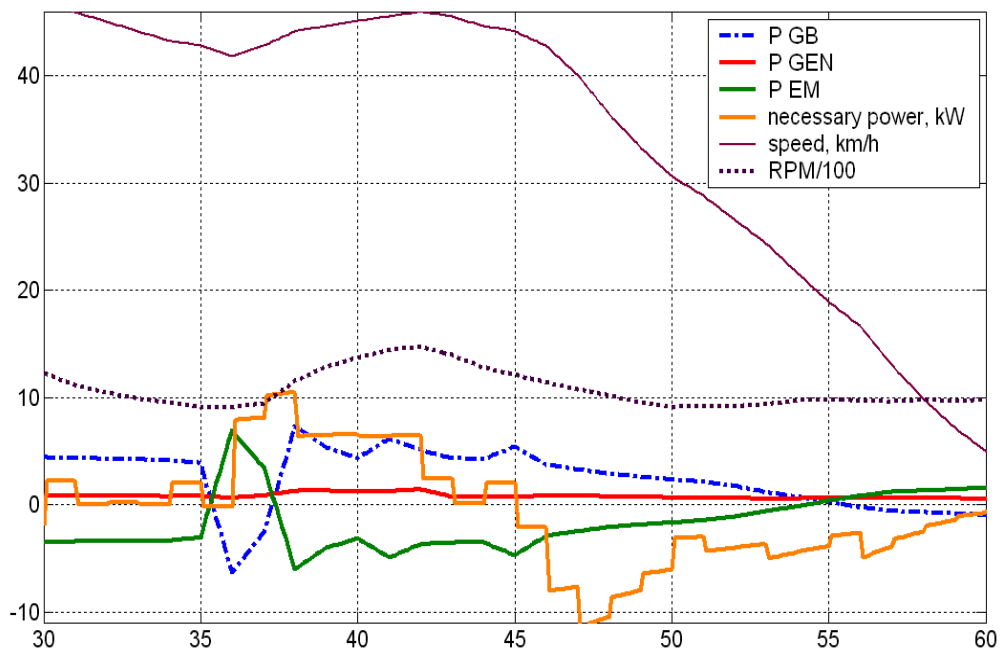
– Спільна робота електродвигуна і ДВЗ при прискоренні відповідному європейському міському циклу (до 1 м/с^2). Визначення процентного впливу ДВЗ і електродвигуна на потужні показники силової установки.

– Спільна робота електродвигуна і ДВЗ при максимальному прискоренні.

Вимірюються потужності електромашин, обороти ДВЗ і прискорення автомобіля.

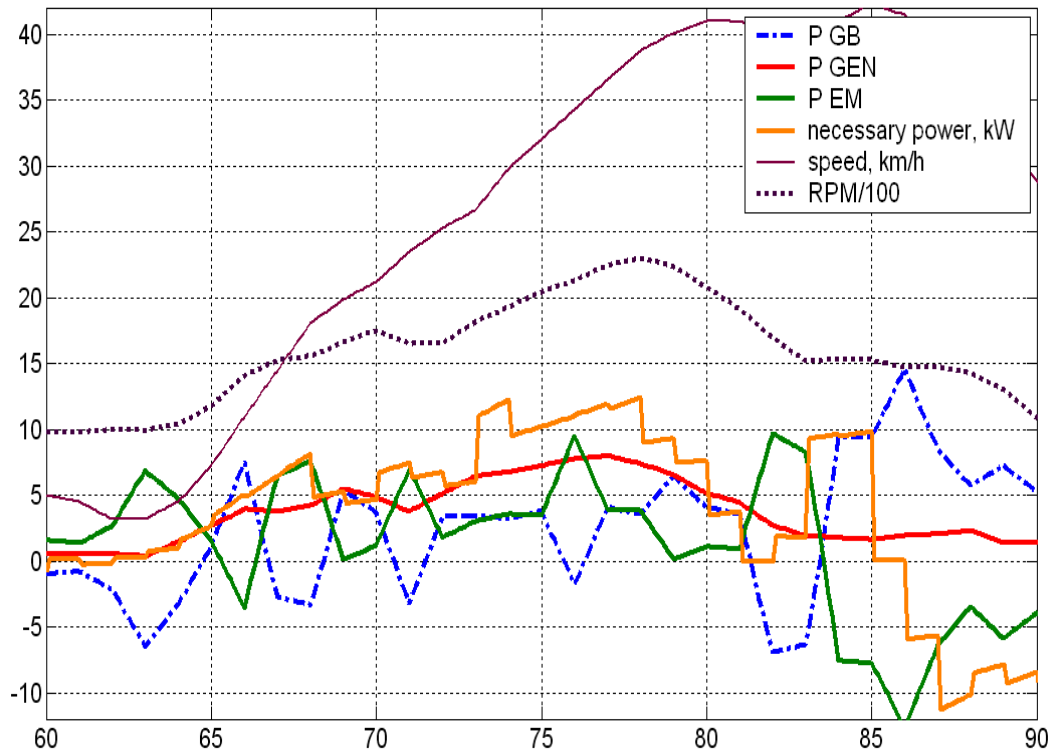
Типові приклади оброблених вимірювань розподілів потоків енергії при різних режимах руху (рис. 3.1 – 3.4), а також в додатку А1.

Дослідження проведені на автомобілі “Prius” показали, що для руху в міському циклі до швидкості 40 км/год. з акумуляторної батареї відбирається потужність у середньому 15 кВт при прискоренні до 1 м/сек².



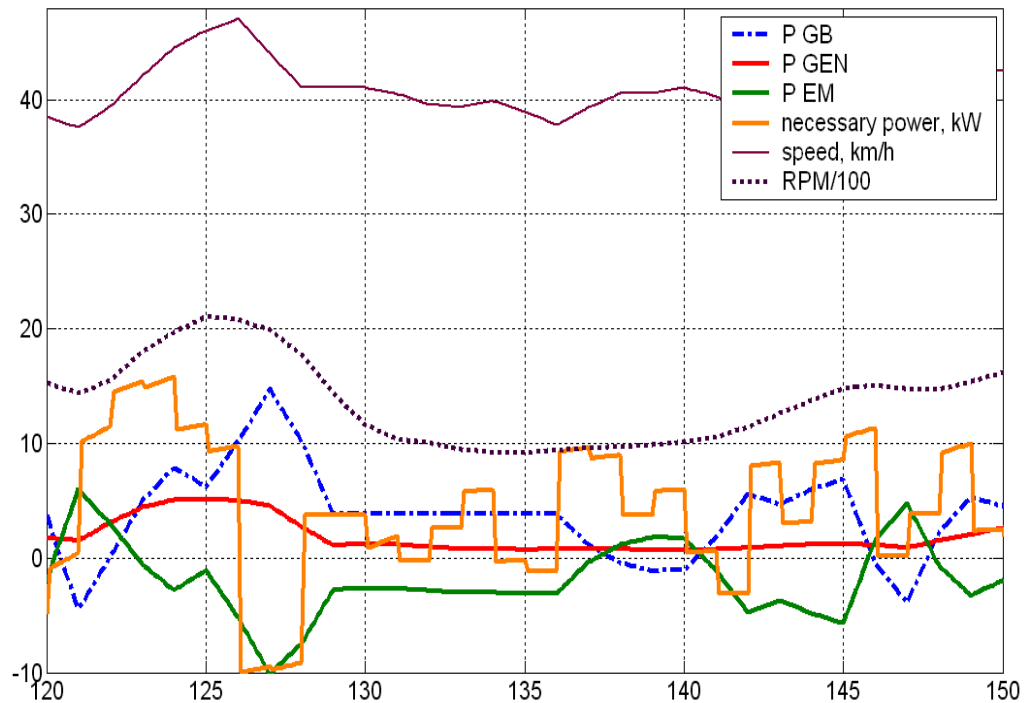
P GB – потужність АКБ, кВт; P GEN – потужність генератора, кВт; P EM – потужність електродвигуна, кВт; necessary power -потужність, необхідна для руху або яка повертається при рекуперації, кВт; speed - швидкість, км/ч; RPM/100 – обороти ДВЗ/100

Рисунок 3.1 – Розподіл потоків енергії з 30 по 60 секунду руху



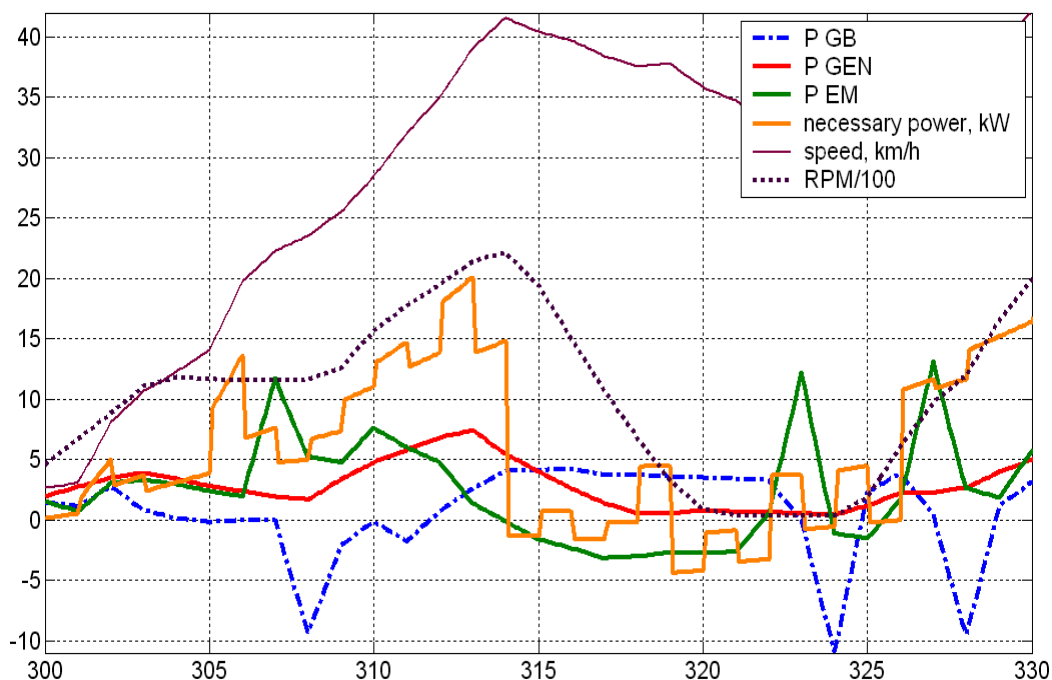
P_{GB} – потужність АКБ, кВт; P_{GEN} – потужність генератора, кВт; P_{EM} – потужність електродвигуна, кВт; necessary power -потужність, необхідна для руху або яка повертається при рекуперації, кВт; speed - швидкість, км/ч;

Рисунок 3.2 – Розподіл потоків енергії з 60 по 90 секунду руху



P_{GB} – потужність АКБ, кВт; P_{GEN} – потужність генератора, кВт; P_{EM} – потужність електродвигуна, кВт; necessary power -потужність, необхідна для руху.

Рисунок 3.3 – Розподіл потоків енергії з 120 по 150 секунду руху



P GB – потужність АКБ, кВт; P GEN – потужність генератора, кВт; P EM – потужність електродвигуна, кВт; necessary power -потужність, необхідна для руху або яка повертається при рекуперації, кВт; speed - швидкість, км/ч;

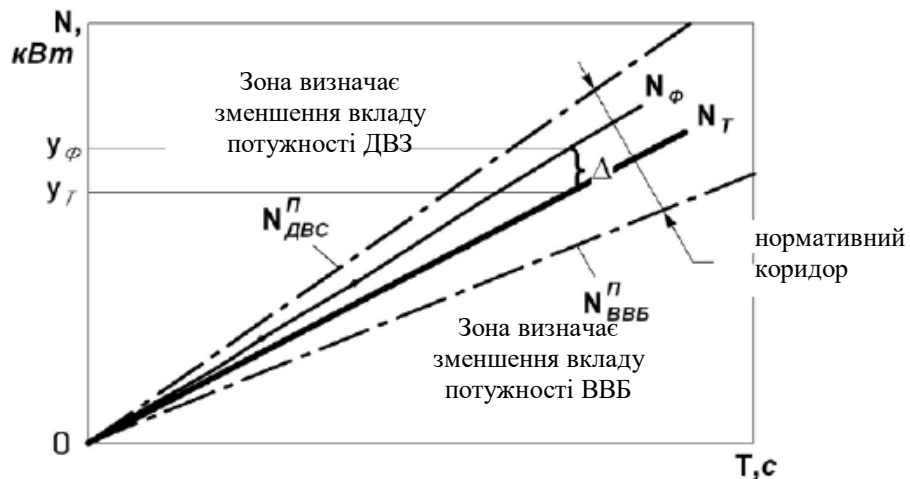
Рисунок 3.4 – Розподіл потоків енергії з 300 по 330 секунду руху.

3.2 Розробка методики прогнозування залишкового ресурсу ГСУ автомобілей

На підставі проведеного аналізу причин несправностей ГСУ і встановлених закономірностей їх виникнення визначена уточнена мета роботи - розробка методики оцінки технічного стану ГСУ автомобілів, яка на відміну від уже відомих методик враховує взаємодію двох потоків потужності. Методика відноситься до автоматизованих процесів діагностування автомобілів, викладеним у книзі Л.В. Мірошникова [9].

Еталонними параметрами, котрі характеризують роботу двигуна внутрішнього згоряння і накопичувача енергії, є параметри робочих процесів ГСУ, обчислювані для заданих умов тестування за допомогою розробленої математичної моделі.

В якості критерію оцінки прийнята відносна величина відхилення Δ характеристики зміни фактичного значення параметра y_ϕ від його теоретичного еталонного значення y_m на рисунку 3.5



- $N_{ДВС}^П$ - межа допустимого технічного стану ДВЗ;
- $N_{ВВБ}^П$ - межа допустимого технічного стану високовольтної батареї;
- N_ϕ - фактичне значення діагностичного параметра;
- N_ϕ - теоретичне значення діагностичного параметра

Рисунок 3.5 – Графік залежності зміни потужності в ланцюзі високовольтної батареї від часу

Діагностичним параметром «у» є тимчасова залежність зміни значень потужності в ланцюзі високовольтної батареї.

При справному технічному стані ГСУ величина відхилення Δ повинна бути мінімальною. Відхилення діагностичного параметра в сторону верхньої межі свідчить про несправності ДВЗ в бік нижньої межі - про несправності високовольтної батареї.

Робота автомобіля є системою технічних процесів, взаємопов'язаних між собою. Водій (діагност) або інший стимулюючий пристрій впливає на ГСУ за допомогою педалі акселератора. Під даним впливом відбувається робочий процес (автомобіль прискорюється), при цьому в елементах ГСУ змінюються діагностичні параметри, вимірювані за допомогою датчиків.

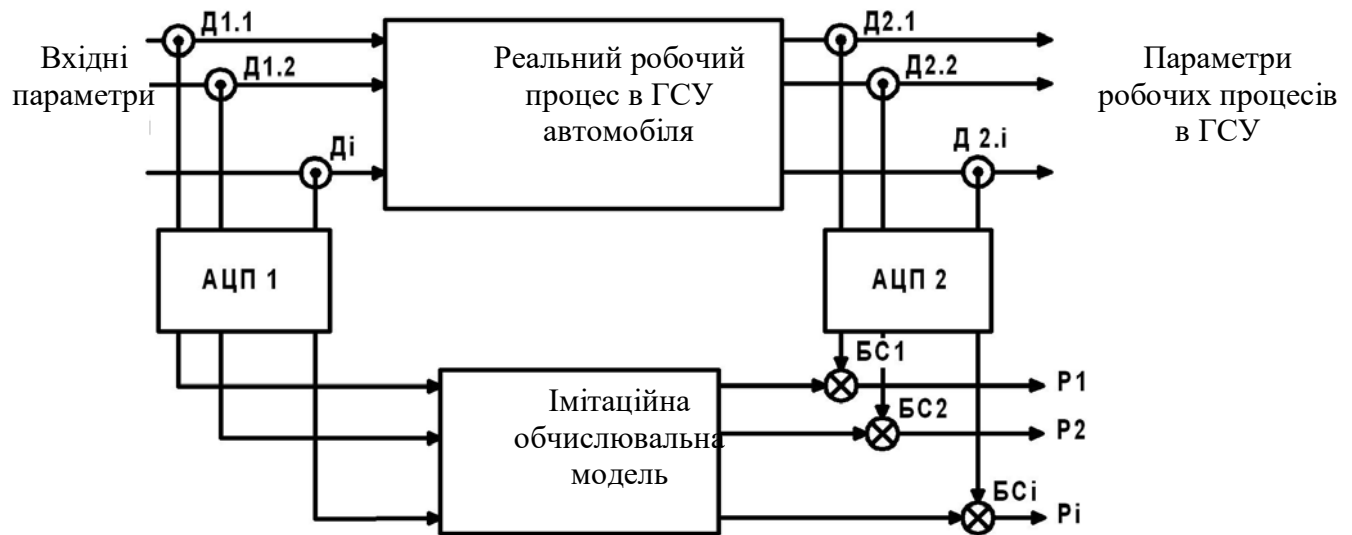


Рисунок 3.6 – Схема функціональна методики оцінки технічного стану ГСУ

Датчики на вході Д1.1- Д1.і, зображено на рисунку 3.2, відстежують вхідні дані про стан об'єкта (поточна швидкість автомобіля). Датчики безконтактного типу Д2.1- Д2.і, встановлені на силових ланцюгах ГСУ, сприймають реакцію на вплив (вихідні дані), весь потік діагностичної інформації надходить в аналого-цифровий перетворювач. Значення оцифрованих діагностичних параметрів від найбільш важливих датчиків виводяться на екран дисплея у вигляді діаграм. Сигнал з датчиків Д1.1- Д1.і надходить в копіюючу систему, що моделює робочий процес. Копіює система, що представляє собою ідеалізовану модель процесу, обчислює значення діагностичних параметрів і формує опорний сигнал для блоків порівняння БС1-БСі. Аналогічні сигнали надходять в блоки порівняння з датчиків Д2.1- Д2.і, де порівнюються за принципом «менше» - «норма» - «більше». Результат порівняння надходить на дисплей у вигляді стандартного сигналу.

Програма записує результати вимірів для подальшого логічного аналізу з переробкою всієї інформації, що надходить від ГСУ автомобіля.

Розроблена математична модель відтворює режим руху автомобіля з ГСУ по вхідним значенням і заданим параметрам, які вказані нижче.

Модель включає 2 розділи: тяговий розрахунок; енергетичний розрахунок, включаючи розрахунок втрат в електроприводі, розрахунок втрат в трансмісії, розрахунок енергії від рекуперації гальмування.

При розробці методики враховані особливості пристрою і роботи автомобіля з ГСУ, накопичений науковий досвід, необхідні рекомендаційні документи і літературні джерела [10-14].

Методика розрахунку закладена в алгоритм програми ГСУ-АВТО [5].

В процесі вимірювання ГСУ виводиться на заданий режим роботи за допомогою стимулюючого пристрою, датчики в силових електричних ланцюгах сприймають сигнали, що характеризують діагностичні параметри S_i .

Ці сигнали перетворюються в електричні, поліпшуються за допомогою аналого-цифрового перетворювача і аналогового мультиплікатора, після чого надходять на засоби відображення інформації та записуючий пристрій, де з урахуванням інформації, отриманої від системи, здійснюється аналіз.

3.3 Вибір параметрів оцінки технічного стану ГСУ

Вибір діагностичних параметрів для оцінки технічного стану ГСУ є складним завданням. Це пов'язано, з тим, що у виконанні робочого вихідного процесу (створення сили тяги на ведучих колесах) беруть участь чотири самостійних вузла: двигун, мотор - генератор 1, мотор - генератор 2 і високовольтна батарея. Кожен з елементів є самостійним, які працюють окремими вузлами.

Для даної системи при встановленні несправності одного з вузлів найбільш цікаві узагальнюючі параметри, які стосуються елементів ГСУ. При оцінці технічного стану ГСУ, досить мати інформацію про узагальнюючі параметри вихідних процесів, що характеризують технічний

стан агрегату в цілому (наприклад, витрата палива на 100 км шляху, максимальна потужність, мотори та ін.). При оцінці окремого вузла або елемента можуть бути використані параметри технічного стану конкретного механізму, системи (наприклад, опір обмотки, саморозряд батареї), і їх еталонні значення. Методики оцінки стану ДВЗ аналогічні тим, що використовуються в даний час.

Параметрами робочих процесів ГСУ є: потужність, що розвивається ГСУ (S_1), витрата палива ГСУ (S_2) [6], коефіцієнт енергетичної ефективності ГСУ (S_3) [7, 10]. Робочими процесами (діагностичними ознаками) є: електрична потужність MG1 в режимі електродвигуна (y_1); електрична потужність MG1 (y_2) в режимі генератора; електрична потужність MG2 (y_3) в режимі електродвигуна; електрична потужність MG2 (y_4) в режимі генератора; електрична потужність ВВБ (y_5) при розряді; електрична потужність ВВБ (y_6) при заряді; саморозряд ВВБ (y_7); ємність ВВБ (y_8).

Параметрами супутніх процесів є: шум (s_1), вібрації (s_2), тепловиділення двигуна (s_3), тепловиділення PSD (s_4); тепловиділення ВВБ (s_5). Параметри робочих процесів ГСУ є діагностичними параметрами, кожен з яких характеризується фактичною величиною і темпом її наростання.

Параметри вихідного процесу обрані відповідно до критеріїв оптимальності. Оцінка обраних параметрів проведена в таблиці 3.1.

При проведенні оцінки, виходячи з необхідних вимог, обрані діагностичні параметри від y_1 до y_6 . Параметри y_5 , y_6 можуть бути використані як діагностичні, тільки в комплексі з іншими. Параметри y_7 , y_8 доцільно використовувати як при визначенні гранично-допустимого стану ВВБ

Між структурними (S_1 - S_2) і діагностичними (y_1 - y_6) параметрами існують взаємозв'язки, що залежать від функціональних і конструктивних особливостей ГСУ. MG1 бере участь в створенні потужності ГСУ,

споживання енергії відбувається в режимах руху з постійним навантаженням і при запуску ДВЗ. Робота MG2 в режимі електродвигуна відбувається при розгiнах, в режимі генерації енергії при русі з постійним навантаженням і рекуперативному гальмуванні.

Таблиця 3.1 – Оцінка діагностичних параметрів на предмет відповідності критеріям

Критерій \ Параметр процесу	y1	y2	y3	y4	y5	y6	y7	y8
1. Функціональна важливість для оцінки технічного стану автомобіля	+	+	+	+	+	+	+	+
2. Однозначність в залежності від напрацювання автомобіля	+	+	+	+	+	+	+	+
3. Чутливість (інформативність) по відношенні до структурному параметру.	+	+	+	+	+	+	1*	1*
4. Стабільність при багаторазових вимірах, характеризується ступенем розсіювання.	+	+	+	+	+	+	2*	2*
5. Здатність розрізняти новину й виявляти несправності за місцем їх виникнення.	+	+	+	+	3*	3*	+	3*
6. Забезпечувати технологічність і економічність при діагностуванні	+	+	+	+	+	+	4*	4*

Примітка 1*. Параметр може бути виміряний тільки протягом тривалого проміжку часу; 2*. залежність від температури батареї; 3*. може бути наслідком різних причин; 4*. великі витрати часу і на підготовчі роботи.

4. ОХОРОНА ПРАЦІ

Перед початком робіт з ремонту та технічного обслуговування автомобілів, робітник повинен переодягнути робочу форму одягу. Причому вилоги рукавів повинні бути застебнуті, на голову одягнений головний убір. На ноги одягнено черевики, щоб уникнути нанесення травми при падінні інструмента або деталей. Одяг зберігається в спеціальній шафі. Входити в цьому одязі в громадські місця та житлові приміщення забороняється.

Перед початком роботи під автомобілем, встановленому на посту технічного обслуговування, на видному місці винести табличку з написом «Двигун не пускати, працюють люди». Під колеса встановити упори, а автомобіль встановити на нижчу передачу. Необхідно перевірити чи немає витоку масла, палива, електроліту і охолоджуючої рідини.

При будь-яких роботах з технічного обслуговування і ремонту автомобілів-самоскидів з піднятим кузовом необхідно ставити упори, що охороняють кузов від самовільного опускання. Працювати не виконавши цієї вимоги категорично забороняється.

Під час роботи не класти інструмент і деталі на раму, підніжки та інші частини автомобіля, звідки вони можуть впасти на працюючого. Перебуваючи під автомобілем, не курить і не запалювати і не користуватися відкритим вогнем.

Шиномонтажні роботи необхідно виконувати тільки у встановлених місцях, суворо дотримуватися правил техніки безпеки. Накачувати змонтовану шину повітрям обов'язково в огорожі, предохраняющем від удару при зриві замкового кільця.

Гальмівну систему перевіряти на спеціально відведеному майданчику.

При роботі з бензином і охолоджувальною рідиною необхідно пам'ятати, що бензин - це вогненебезпечна речовина. Особливу

обережність слід дотримуватися з тарою, так як при зіткненні з відкритим вогнем, наявні в тарі пари бензину спалахують і викликають вибух. Міститься тетраетил свинець в бензині є сильною отрутою. У разі попадання етилованого бензину на шкіру необхідно це місце промити спочатку гасом, а потім теплою водою з милом.

Пролиті на підлогу паливо, масло та інші паливно - мастильні матеріали необхідно відразу забрати на випадок виникнення пожежі, засипають піском або тирсою після чого його видаляють. Робоче місце слюсаря з ремонту автомобілів має бути достатньо освітлене. Але освітлення має бути розташоване таким чином, щоб не засліплювало робітника.

Під час розбирання та складання вузлів, агрегатів слід застосовувати спеціальні ключі і знімачі. Важко відвертаємо гайки потрібно спочатку змочити гасом а потім відвернути ключем. Також необхідно дотримуватися правил пожежної безпеки. Обтиральні матеріали слід прибирати в спеціально відведений металевий ящик, з щільно закривається кришкою, а по закінченню роботи виносити у відведені місця для сміття.

Приміщення повинно мати вентиляцію загальну вентиляцію. Приміщення, де проводяться ремонтні роботи, має добре провітрюватися, двері - легко відкриватися як зсередини, так і зовні. Прохід до дверей завжди тримаєте вільним. Топлівосмазочние і легкозаймисті речовини зберігайте в небьющейся тарі на підлозі або на полицях з відбортовки. Якщо бензин або розчинник розлився, не вмикайте та не вимикайте світло, щоб уникнути займання від іскри між контактами вимикача (електродвигуни та нагрівальні прилади відключіть негайно); провітріть приміщення. Розлите масло засипте піском. Промасленого ганчір'я зберігайте окремо, бажано в металевому ящику - небезпека пожежі. Для освітлення приміщення, по можливості, використовуйте атмосфероізолірованние (герметичні) світильники, люмінесцентні лампи. Бажано також мати мережу низької напруги (до 36 В) для робіт на вулиці і

на неізолювану підлозі, в канаві і т.п. Зварювальні балони використовуйте тільки зі штатними редукторами. Категорично забороняється змащувати вентиль кисневого балона або підносити до нього промасленого ганчір'я - це може викликати вибух. При роботі з газозварювання необхідні окуляри з темними стеклами. Для електрозварювання потрібна маска із спеціальним світлофільтром. Окуляри з прозорими стеклами або маска обов'язкові при роботі з відрізною машинкою («болгаркою»), електроточіле, бажані при свердлінні та слюсарних роботах. На час зварювальних робіт запасіться вогнегасником (краще вуглекислотним). Перед електрозварюванням відключіть всі електронні блоки управління від бортової мережі автомобіля, а «масовий» контакт зварювального дроту розташовуйте якомога ближче до місця зварювання. Простежте за тим, щоб струм не проходив через рухливі (підшипники, кульові опори) або різьбові з'єднання - вони можуть бути пошкоджені.

При ремонті ланцюгів електроустаткування або небезпеки їх пошкодження (зварювання, рихтування поблизу джгутів проводів) відключайте клему «мінус» акумуляторної батареї.

Не відкривайте пробку радіатора на гарячому двигуні - можливі опіки. Не від'єднуйте на працюючому двигуні (а також при включеному запалюванні) проводи та прилади системи запалювання - можливе ураження електричним струмом. Щоб уникнути пожежі не розбирайте систему живлення і її вузли і не перевіряйте тиск в паливній рампі двигуна поки не охолоне випускний колектор.

Бережіть пальці від обертових приводів, лопатей електровентиляторів системи охолодження двигуна (всі роботи з ними робіть тільки при знеструмленій ланцюга живлення електродвигунів). При роботах поблизу алюмінієвого радіатора дотримуйтеся обережності - його пластини дуже гострі. Бажано надіти шкіряні рукавички або прикрити радіатор шматком картону або фанерою.

При роботі в моторному відсіку термічні опіки можна отримати від радіатора, термостата, головки блоку циліндрів, випускного колектору, прийомної труби, що вилилася охолоджуючої рідини (або струменя пара).

Не застосовуйте несправний інструмент: різкові ключі з «розкрилися» зева або зім'ятими губками, викрутки з округленим або скрученим шліцом, пасатижі з погано закріпленими пластмасовими ручками, молотки з незафіксованою ручкою і т.п. Для захисту рук від порізів і ударів під час «силових» операцій надягайте рукавички (краще шкіряні). Краще тягнути ключ на себе, ніж натискати на нього - так менше ризик отримати травму.

Попередньо переконайтеся, що відповідні силові елементи кузова (підсилювачі підлоги, пороги) досить міцні. Використовуйте для підйому автомобіля тільки штатні точки опори. Забороняється вивішувати автомобіль на двох або більше домкратах - використовуйте підставки промислового виготовлення. Забороняється навантажувати або розвантажувати автомобіль, що стоїть на домкраті (сідати в нього, знімати чи встановлювати двигун, пружини підвіски і т.п.), якщо під ним знаходяться люди. При ремонті автомобіля зі знятим двигуном (силовим агрегатом) враховуйте, що развесовка по осях змінилася: при вивішуванні на домкраті такий автомобіль може впасти. Працюйте тільки на рівній неслизькою майданчику, під невивішений колеса підкладайте упори.

При роботі двигуна виділяється оксид вуглецю - отруйний газ без кольору і запаху. Отруїтися їм можна навіть у відкритому гаражі, тому перед пуском двигуна забезпечте примусову витяжку відпрацьованих газів за межі гаража. При її відсутності пускати двигун слід на короткий час, надівши на випускну трубу відрізок шланга - при цьому система випуску і її з'єднання з шлангом повинні бути герметичні!

Відпрацьовані моторне і трансмісійне масла містять канцерогенні сполуки. Замаслені руки витріть ганчіркою, потім протріть спеціальним «засобом для чищення рук» (або соняшниковою олією) і вимийте теплою

водою з милом. Не можна мити промаслені руки гарячою водою - шкідливі речовини легко проникають через шкіру. Облиті бензином руки витріть чистою ганчіркою і вимийте з милом.

Охолоджуюча і гальмівна рідини при попаданні всередину організму можуть викликати отруєння. Якщо це сталося, потрібно негайно викликати блювоту, промити шлунок, при важкому отруєнні прийняти сольове проносне, звернутися до лікаря. При попаданні рідин на руки необхідно змити їх великою кількістю води.

Що потрапив на шкіру електроліт викликає печіння, почервоніння. Змийте його великою кількістю холодної води (не можна змивати його милом!), Потім промийте руки розчином питної соди або нашатирного спирту. Пам'ятайте, що сірчана кислота навіть в малих концентраціях руйнує органічні волокна - бережіть одяг! При роботі з акумуляторною батареєю (електроліт майже завжди присутній і на її поверхні) надягайте окуляри, захисний одяг та гумові рукавички.

Бензин, масла, гумотехнічні вироби, пластмаси і гальмівна рідина, свинцеві акумулятори вкрай повільно переробляються в природі.

У приміщеннях для стоянки, ремонту і технічного обслуговування автомобілів повинні бути встановлені вогнегасники згідно встановлених норм. У приміщенні повинні обладнуватися пожежними щитами на якому знаходиться відро, багор, сокира. Крім того, повинні бути передбачені ящики з сухим піском, у кожного ящика повинна знаходитися лопата. При виникненні пожежі необхідно повідомити про це по телефону 101 і приступити до гасіння пожежі.

ВИСНОВКИ

1. Процес зміни технічного стану силової установки гібридного автомобіля тече повільно та відрізняється конкретним напрямком. Це дозволяє рахувати цей процес квазидетермінованим та описувати його детермінованими функціями часу.

2. Виконана формальна постановка оптимізаційної задачі прогнозування ГСУ при векторному функціоналі якості управління. Компонентами векторного функціоналу прийнято критерії точності управління, використання енергії ТАБ, ступеня токсичності відпрацьованих газів. В основі синтезу математичної моделі прогнозування технічного стану ГСУ лежить апроксимація нейронними мережами характеристик ДВЗ, які базуються на діагностичних даних випробувань ДВЗ.

3. Отримано модель оцінки технічного стану ГСУ на базі енергетичних витрат. Розглянуті особливості прогнозування технічного стану ДВЗ ГСУ, які відображають швидкісні характеристики ДВЗ і показники його економічності та токсичності відпрацьованих газів.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Бажинов О. В., Бажинова Т. О., Заверуха Р. Р. Метод визначення ефективної роботи силової установки гібридного автомобіля. *Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексів* / Харків. нац. техн. ун-т сіл. госп-ва ім. Петра Василенка. Харків, 2021. № 23. С. 180–187.
2. Бажинов О. В., Бажинова Т. О., Заверуха Р. Р. Діагностика силової установки гібридного автомобіля : монографія / Харків. нац. автомоб.-дор. ун-т. Харків : ХНАДУ, 2021. 116 с.
3. Bazhinov O., Gerlici Ju., Kravchenko O., Haiek Ye., Bazhynova T., Zaverukha R., Kravchenko K. Development of a Method for Evaluating the Technical Condition of a Cars Hybrid Powertrain. *Symmetry*. 2021. Vol. 13, issue 12. DOI: <https://doi.org/10.3390/sym13122356>.
4. Бажинов О. В., Смирнов О. П., Серіков С. А., Двадненко В. Я. Синергетичний автомобіль. Теорія і практика : монографія / Харків. нац. автомоб.-дор. ун-т. Харків : ХНАДУ, 2011. 236 с.
5. Бажинов О. В., Смирнов О. П., Серіков С. А., Гнатов А. В., Колесніков А. В. Гібридні автомобілі / Харків. нац. автомоб.-дор. ун-т. Харків : ХНАДУ, 2008. 327 с.
6. Bazhynov O.V., Veselaya M.A. (2016), Intellectual Drive With Electric Engines On a Stock Car, *Mechanics, Materials Science & Engineering Journal*, Magnolithe GmbH, Vol.3, DOI 10.13140/RG.2.1.3296.9369
7. C.L. Wang, C. L. Yin, T. Zhang, L. Zhu, Powertrain design and experiment research of a parallel hybrid electric vehicle, *International Journal of Automotive Technology*, (2009) 10: 589. doi:10.1007/s12239-009-0069-2
8. Andreas Lange, Ferit Küçükay, A new, systematic approach to determine the global energy optimum of a hybrid vehicle. *Automotive and Engine Technology*, (2016). doi:10.1007/s41104-016-0011-3

9. Li Liu, Wenxin Liu, David A. Cartes. Permanent magnet synchronous motor parameter identification using particle swarm optimization. *International journal of computational Intelligence research*. 2008. Vol. 4, № 2. P. 211–218.
10. Arash Hassanpour Isfahani, Siavash Sadeghi. Design of a permanent magnet synchronous machine for the hybrid electric vehicle. *Proceedings of world academy of science, engineering and technology (PWASET)*. 2008. Vol. 35. P. 567–571.
11. Дука А. КДЖ. Кобб. Nissan тестує Leaf Mule з запасом ходу більше ніж 250 миль з новим хімічним складом батареї. 14 червня 2015 р. Доступно за адресою: <http://www.hybridcars.com/nissan-testing-250-mile-range-leaf-with-new-battery-chemistry/>
12. Mehul Oswal, Jason Paul, Runhua Zhao / A comparative study of Lithium-Ion Batteries // University of Southern California. AME 578 Project. – 2010. – 31 p.
13. Haverkort. Battery Modeling. Technical Report TR-CTIT-08-01, Centre for Telematics and Inf. Tech., U. Twente, 2008. – 25 p.
14. GOST 20306-90 “Motor vehicles. Fuel efficiency. Test methods.”
15. Smirnov, O.P., (2013), “*Gibridnaya silovaya ustanovka dlya transortnyh sredstv*” [Hybrid power plant for vehicles]. Smirnov, O.P., Bogaevskiy, A.B., Smirnova, A.O. // *Vestnik KhNTUSH after Petr Vasilenko*, 2013, № 139, pp. 207-211
16. Worldwide emission standards and related regulations. Passengercars. Light & medium duty vehicles. – Continental automotive GmbH division powertrain communication. – March, 2012. – 102p.
17. Zhang Yi, Liu Heping, Wang Huabin. “Torque Control Strategy for Parallel Hybrid Electric Vehicles using Fuzzy Logic”. *WSEAS Transactions on Systems*, iss. 4, vol. 10. – 2011. – P. 116-125.
18. Wallmark Oskar. On Control of Permanent-Magnet Synchronous

Motors in Hybrid-Electric Vehicle Applications / Department of electric power engineering ; Chalmers university of technology. Goteborg, 2004. 115 p. (Technical reports at the school of electrical engineering).

19. Li Liu, Wenxin Liu, David A. Cartes. Permanent magnet synchronous motor parameter identification using particle swarm optimization. *International journal of computational Intelligence research*. 2008. Vol. 4, № 2. P. 211–218.

20. Arash Hassanpour Isfahani, Siavash Sadeghi. Design of a permanent magnet synchronous machine for the hybrid electric vehicle. *Proceedings of world academy of science, engineering and technology (PWASET)*. 2008. Vol. 35. P. 567–571.





21. Дука А. К., Чернышев В. М., Демченко Ф. О., Загарий Г. И., Семчук Р. В. Моделирование тягового частотно управляемого электропривода на базе синхронных двигателей с постоянными магнитами. *Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті*. 2006. № 5/6. С. 80–86.

ДОДАТОК А – Ілюстративний матеріал до дипломної роботи

Харківський національний автомобільно-дорожній університет
Автомобільний факультет
Кафедра інжинірингу систем автомобільного транспорту
імені М.Я. Говоруценка

Ілюстративний матеріал до кваліфікаційної роботи
бакалавра

ПРОГНОЗУВАННЯ ЗАЛИШКОВОГО РЕСУРСУ ГІБРИДНОЇ СИЛОВОЇ УСТАНОВКИ АВТОМО

Завідуючий кафедрою д-р техн. наук, проф.		Володимир ВОЛКОВ
Нормоконтролер канд. техн. наук, доцент		Ігор МАРМУТ
Керівник, д-р техн. наук, проф.		Олексій БАЖИНОВ
Студент гр. А-42-22		Ігор МІЩЕНКО

Харків 2026

Мета та задачі дослідження

Метою дипломної роботи є дослідження методів прогнозування залишкового ресурсу гібридних силових установок з використанням енергетичних показників.

У відповідності з цим були поставлені наступні завдання дипломної роботи:

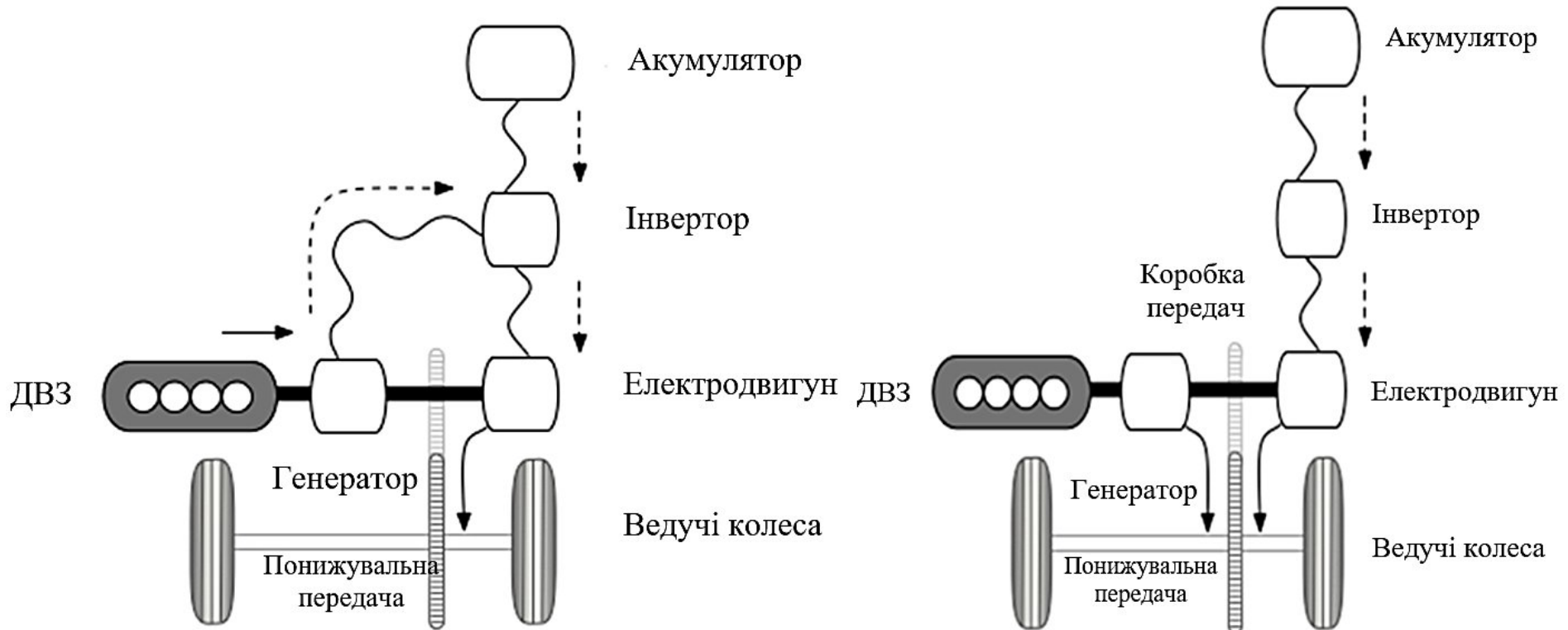
виконати аналіз стану і перспективи використання методів прогнозування технічного стану гібридного автомобіля;

виконати удосконалення метода прогнозування залишкового ресурсу силової установки гібридного автомобіля;

виконати перевірку удосконаленого метода прогнозування ресурсу силової установки гібридного автомобіля.

СХЕМИ ГІБРИДНИХ СИЛОВИХ УСТАНОВОК

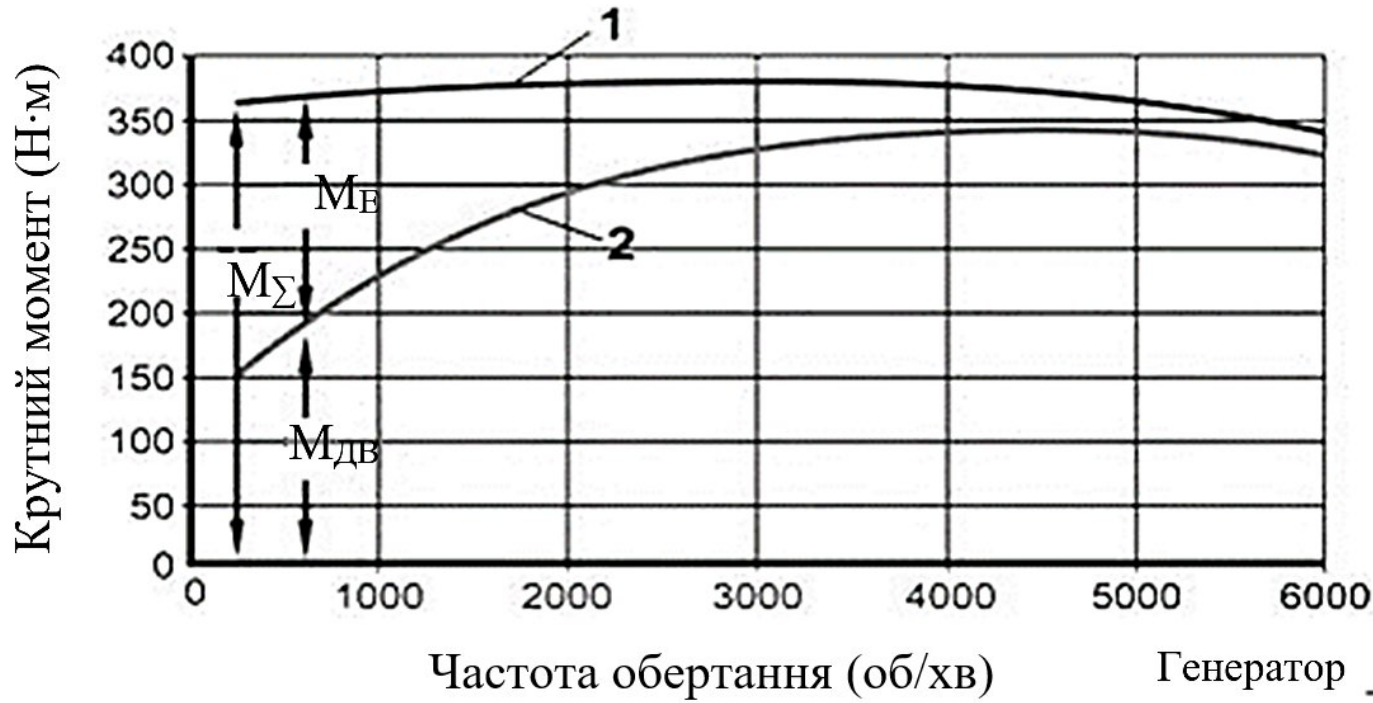
→ Механічна енергія - - - → Електрична енергія



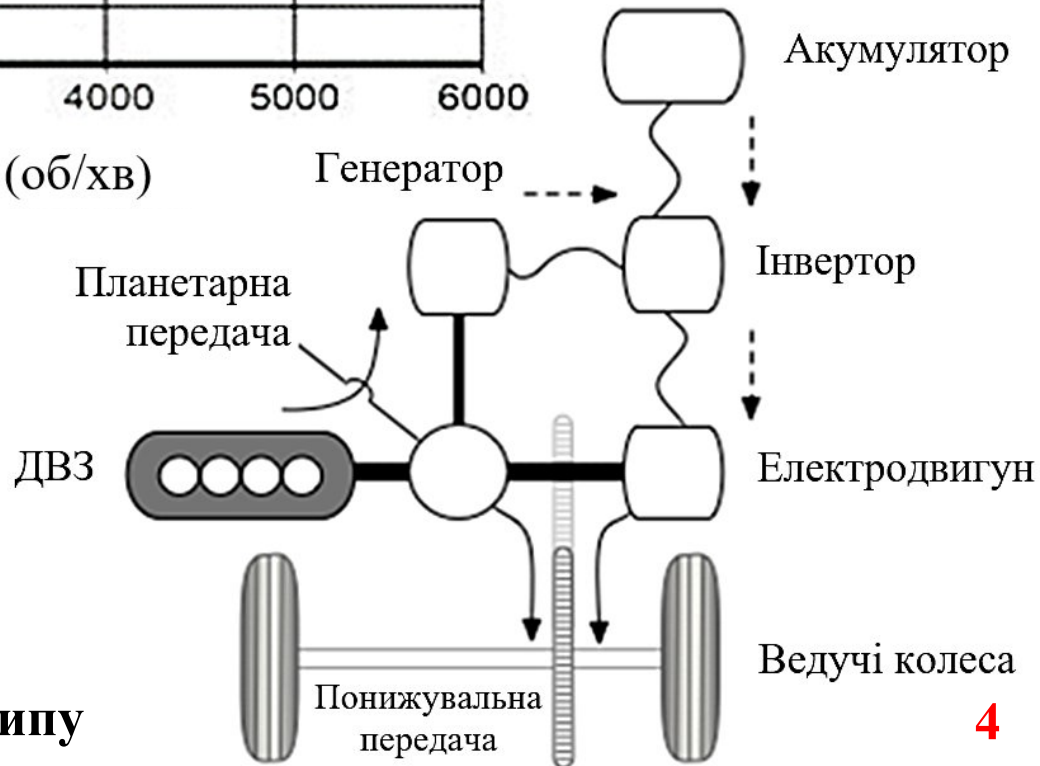
Послідовного типу

Паралельного типу

ЗБІЛЬШЕННЯ КРУТНОГО МОМЕНТУ ПРИ СПІЛЬНІЙ РОБОТІ ДВЗ І ЕЛЕКТРОДВИГУНА В ПАРАЛЕЛЬНІЙ СХЕМІ



→ Механічна енергія
 ---▶ Електрична енергія



послідовно-паралельного типу

Математична модель залишкового ресурсу ГСУ

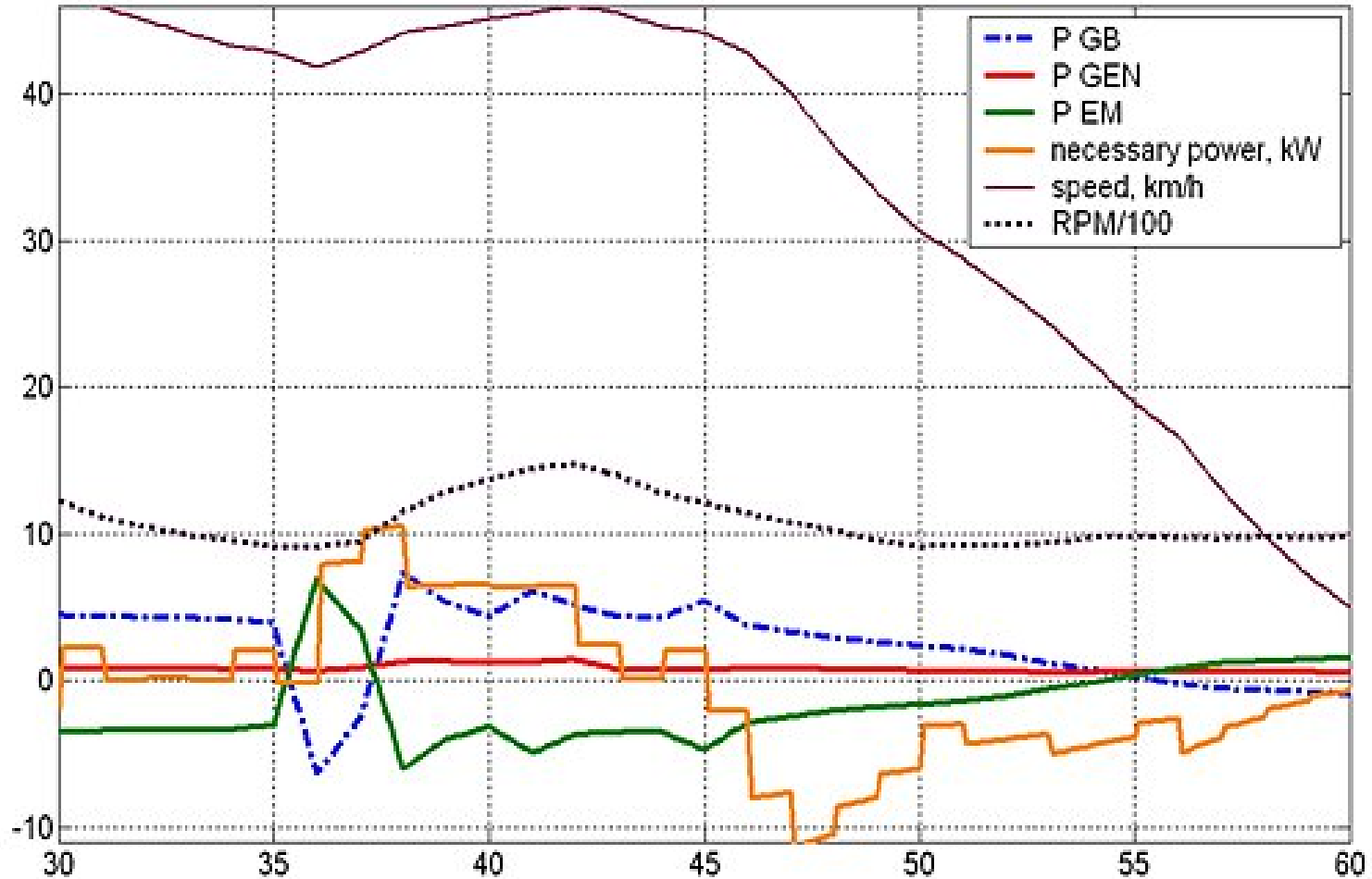
$$\left. \begin{aligned} K_p &= \frac{(Q_\phi + 0,091 \cdot E_{AKB}) \cdot V_a}{0,35 \cdot Q_{\max} \cdot V_{\max}} \text{ при } V_a \leq 0,3 \cdot V_{\max} \\ K_p &= \frac{0,35 \cdot Q_\phi \cdot V_{\max}}{(Q_\phi + 0,091 \cdot E_{AKB}) \cdot V_a} \text{ при } V_a > 0,3 \cdot V_{\max} \end{aligned} \right\}$$

де Q_ϕ , Q_{min} - відповідно фактичний і мінімальний витрата палива гібридного автомобіля в л/100 км пробігу;

- відповідно максимальна та середня швидкість руху автомобіля; км/год;

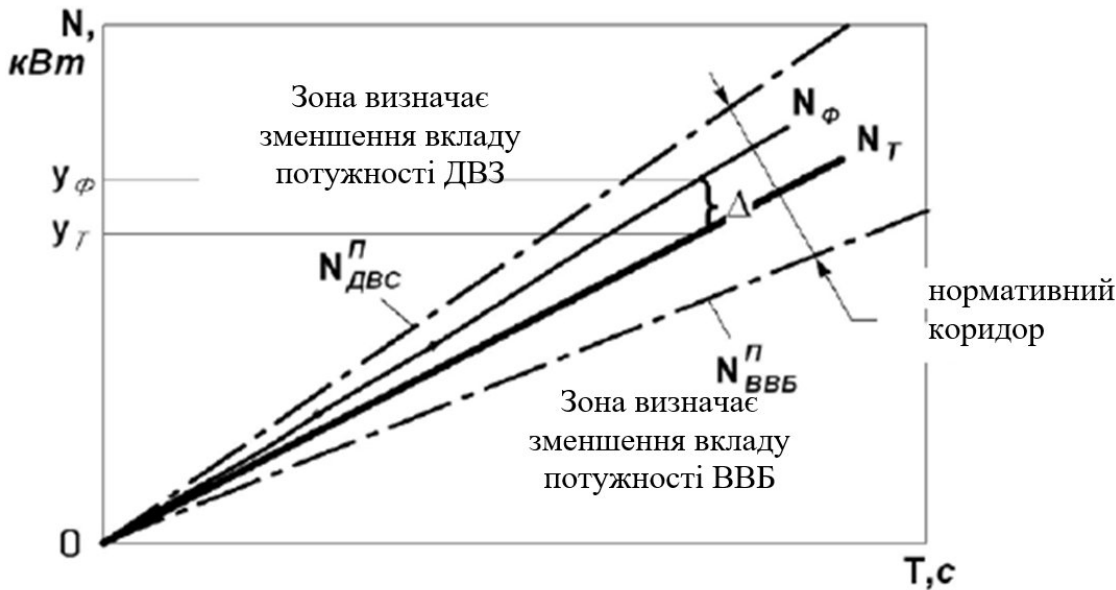
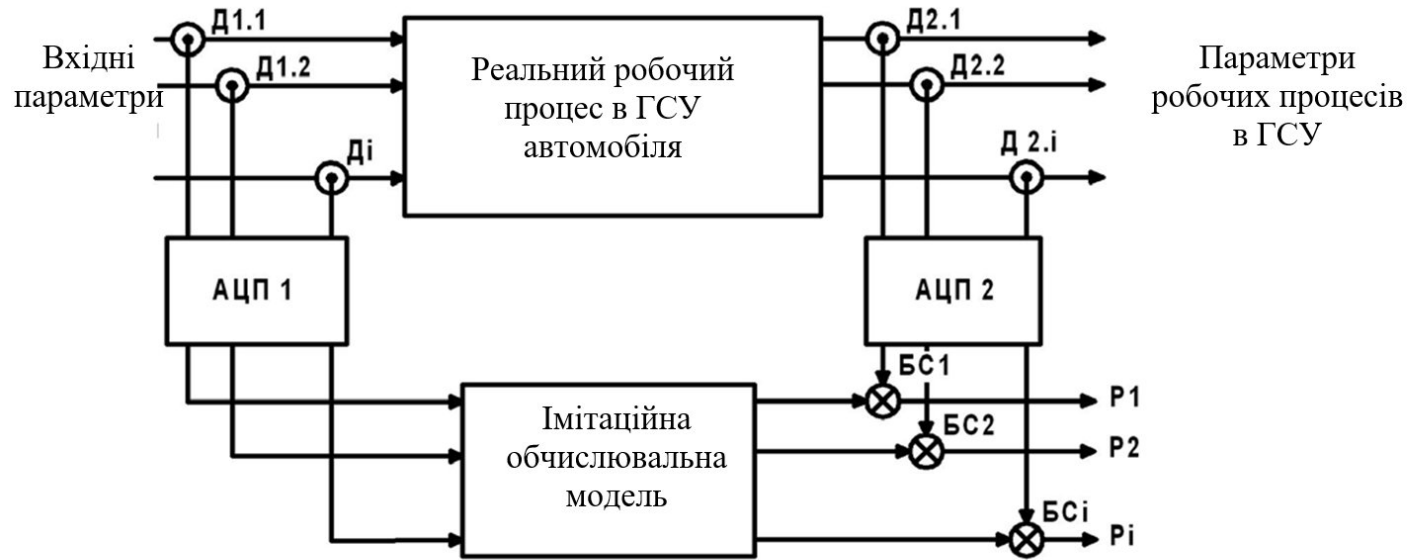
- ємність акумуляторної батареї, кВт-год.

РОЗПОДІЛ ПОТОКІВ ЕНЕРГІЇ З 30 ПО 60 СЕКУНДУ РУХУ



P GB – потужність АКБ, кВт; P GEN – потужність генератора, кВт; P EM – потужність електродвигуна, кВт; necessary power - потужність, необхідна для руху або яка повертається при рекуперації, кВт; speed - швидкість, км/год; RPM/100 – обороти ДВЗ/100

МЕТОДИКА ОЦІНКИ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ГСУ АВТОМОБІЛІВ



- $N_{ДВС}^П$ - межа допустимого технічного стану ДВЗ;
- $N_{ВВБ}^П$ - межа допустимого технічного стану високовольтної батареї;
- $N_φ$ - фактичне значення діагностичного параметра;
- $N_φ$ - теоретичне значення діагностичного параметра

Залежності зміни потужності в ланцюзі високовольтної батареї від часу

ОЦІНКА ДІАГНОСТИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ НА ПРЕДМЕТ ВІДПОВІДНОСТІ КРИТЕРІЯМ

Критерій \ Параметр процесу	y1	y2	y3	y4	y5	y6	y7	y8
1. Функціональна важливість для оцінки технічного стану автомобіля	+	+	+	+	+	+	+	+
2. Однозначність в залежності від напрацювання автомобіля	+	+	+	+	+	+	+	+
3. Чутливість (інформативність) по відношенні до структурному параметру.	+	+	+	+	+	+	1*	1*
4. Стабільність при багаторазових вимірах, характеризується ступенем розсіювання.	+	+	+	+	+	+	2*	2*
5. Здатність розрізняти новину й виявляти несправності за місцем їх виникнення.	+	+	+	+	3*	3*	+	3*
6. Забезпечувати технологічність і економічність при діагностуванні	+	+	+	+	+	+	4*	4*

Примітка 1*. Параметр може бути виміряний тільки протягом тривалого проміжку часу; 2*. залежність від температури батареї; 3*. може бути наслідком різних причин; 4*. великі витрати часу і на підготовчі роботи.

ІМОВІРНІСНА ОЦІНКА ВІДМОВ ДВЗ І ЙОГО СИСТЕМ ПО ІНТЕРВАЛАХ

Номер інтервалу	Інтервал, тис. км	Середина інтервалу, тис. км	Число відмов в інтервалі	Частіть	Оцінка накопичених ймовірностей	
					Відмова F	Безвідм. R
1	0-25	12,5	0	0	0	1,00
2	25-50	37,5	0	0	0	1,00
3	50-75	62,5	12	0,09	0,09	0,91
4	75-100	87,5	29	0,2	0,29	0,71
5	100-125	112,5	33	0,23	0,52	0,48
6	125-150	137,5	32	0,22	0,74	0,26
7	150-175	162,5	37	0,26	1,00	0
Всього	-	-	143	1	-	-

Імовірнісна оцінка відмов PSD по інтервалах

Номер інтервалу	Інтервал, тис. км	Середина інтервалу, тис. км	Число відмов в інтервалі	Частіть	Оцінка накопичених ймовірностей	
					Відмова F	Безвідм. R
1	0-25	12,5	0	0	0	1,00
2	25-50	37,5	1	0,03	0,03	0,97
3	50-75	62,5	1	0,03	0,06	0,94
4	75-100	87,5	4	0,09	0,15	0,85
5	100-125	112,5	9	0,21	0,36	0,64
6	125-150	137,5	11	0,26	0,62	0,38
7	150-175	162,5	16	0,38	1,00	0
Всього	-	-	42	1	-	-

ВИСНОВКИ

Процес зміни технічного стану силової установки гібридного автомобіля тече повільно та відрізняється конкретним напрямком. Це дозволяє рахувати цей процес квазидетермінованим та описувати його детермінованими функціями часу.

Виконана формальна постановка оптимізаційної задачі прогнозування ГСУ при векторному функціоналі якості управління. Компонентами векторного функціоналу прийнято критерії точності управління, використання енергії ТАБ, ступеня токсичності відпрацьованих газів. В основі синтезу математичної моделі прогнозування технічного стану ГСУ лежить апроксимація характеристик ДВЗ, які базуються на діагностичних даних випробувань ДВЗ.

Отримано модель оцінки технічного стану ГСУ на базі енергетичних витрат. Розглянуті особливості прогнозування технічного стану ДВЗ ГСУ, які відображають швидкісні характеристики ДВЗ і показники його економічності та токсичності відпрацьованих газів.