

КОНКУРС НА КРАЩУ РАБОТУ СТУДЕНТІВ
РОЗДІЛ «ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ»

СТУДЕНТСЬКА НАУКОВА РОБОТА

НА ТЕМУ: «ОБҐРУНТУВАННЯ ВИБОРУ СХЕМИ ГІБРИДНОЇ
ЕНЕРГОУСТАНОВКИ ДЛЯ АВТОМОБІЛІВ ПІДВИЩЕНОЇ ПРОХІДНОСТІ
З УРАХУВАННЯМ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ УМОВ»

ДЕВІЗ: ЕКСПЛУАТАЦІЯ ГІБРИДІВ

ЗМІСТ

ВСТУП	3
1 АНАЛІЗ РОЗВИТКУ АВТОМОБІЛЕБУДУВАННЯ В УКРАЇНІ І СВІТІ	5
1.1 Аналіз світового ринку екологічно-чистих автомобілів	5
1.2 Аналіз ринку екологічно-чистих автомобілів в Україні	6
2 АНАЛІЗ ТА ОБГРУНТОВАННЯ КОНСТРУКТИВНИХ СХЕМ ГІБРИДНИХ ЕНЕРГОУСТАНОВОК АВТОМОБІЛІВ	8
2.1 Основні типи гібридних енергоустановок, що встановлюються на гібридні автомобілі	8
2.2 Аналіз сучасних схем гібридних автомобілів підвищеної прохідності.	11
2.3 Аналіз умов експлуатації гібридних автомобілів підвищеної прохідності	16
2.4 Вибір раціональної схеми гібридної енергоустановки	19
3 УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДИКИ ОЦІНКИ ЕФЕКТИВНОСТІ КОНСТРУКТИВНОЇ СХЕМИ ГІБРИДНОГО АВТОМОБІЛЯ	20
3.1 Організація процесу оцінки конструктивної схеми гібридного автомобіля.	20
3.2 Моделювання експлуатаційних режимів	23
3.3 Вибір критеріїв оцінки ефективності конструктивної схеми	25
ВИСНОВКИ	29
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	30

ВСТУП

Актуальність теми дослідження. Сьогодні стають актуальними проекти, що зменшують шкідливі викиди автомобілів, знижують витрату нафтових та газових палив та стимулюють розвиток нетрадиційних автомобілів, зокрема, гібридних та електромобілів.

В гібридних автомобілях для поліпшення паливної економічності та зниження викидів шкідливих речовин використовуються спеціальні високовольтні тягові акумуляторні батареї (ТАБ) та тягові електричні двигуни, які повністю замінюють або частково доповнюють ДВЗ у різних швидкісних і навантажувальних режимах руху автомобіля. Сьогодні найбільшим попитом користуються автомобілі підвищеної прохідності з гібридними енергоустановками.

Основними техніко-експлуатаційними властивостями сучасного автомобіля підвищеної прохідності є тягово-швидкісні властивості, паливна економічність, екологічність та прохідність. В різних експлуатаційних умовах вагомість окремих показників цих властивостей суттєво змінюється. Такі автомобілі, поряд з підвищеною прохідністю в складних дорожніх умовах, повинні мати високі тягово-швидкісні властивості на дорогах з твердим покриттям при мінімальних витратах палива та викидах забруднюючих речовин.

Таким чином, актуальність роботи пов'язана з економічними та соціальними проблемами сучасності, обумовлені впровадженням екологічно чистих транспортних засобів в сегменті автомобілів підвищеної прохідності, що дозволяє підвищити їх паливну економічність й зменшити викиди шкідливих речовин в атмосферу.

Для цього необхідно розробити достовірний метод визначення раціональної та ефективної конструктивної схеми гібридних автомобілів, за якої такий автомобіль демонстрував би найкращі техніко-експлуатаційні властивості при урахуванні призначення та умов експлуатації.

1 АНАЛІЗ РОЗВИТКУ АВТОМОБІЛЕБУДУВАННЯ В УКРАЇНІ І СВІТІ

1.1 Аналіз світового ринку екологічно-чистих автомобілів

Ефективність традиційних ДВЗ у сучасних умовах експлуатації автомобілів підвищеної прохідності виявилася недостатньою, особливо при поєднанні експлуатації їх у великих містах та в умовах бездоріжжя. Відомо, що в межах мегаполісів, потужність ДВЗ використовується в середньому не більше ніж на 20% [1]. Середня швидкість руху в місті для автомобіля, максимальна швидкість якого 150...200 км/год, не перевищує 30 км/год. Крім того, сам характер руху у місті є послідовністю прискорень і гальмувань. В результаті енергія ДВЗ переходить в значній мірі в теплоту, що розсіюється у навколишнє середовище через елементи гальмівних систем та безповоротно втрачається. Необхідність оптимізації енергоустановки і рекуперації (повернення) енергії в автомобілі виникла вже давно, але була багато в чому обмежена: з одного боку, інертністю виробників транспортних засобів (як відомо будь-яка модернізація вимагає значних капіталовкладень), а з іншого – недостатнім технологічним рівнем розвитку екологічно безпечних і достатньо ємних накопичувачів і рекуператорів енергії [1].

За даними консалтингової компанії "LMC Automotive" [2, 3] в першій половині 2020 року в світі продано більше 32 млн. нових легкових і легких комерційних (LCV) автомобілів, що менше на 27 % за аналогічний період попереднього року [2]. За вісім місяців 2020 року продажі машин в світі склали 46 млн 226 тис. одиниць (– 22,2%). Зменшення продажів автомобілів в світі спостерігається після 2017 року. (рис. 1.1).

В цей же час ринок екологічно-чистих автомобілів, а саме гібридів та електромобілів (усіх типів, схем та модифікацій) тримався куди краще – -14% глобальних продажів – повідомляють аналітики EV-Volumes (рис. 1.2) [4].

В Світі спостерігається стійка тенденція переходу автовиробників на випуск екологічних автомобілів, а саме електромобілів та гібридів (різних типів).

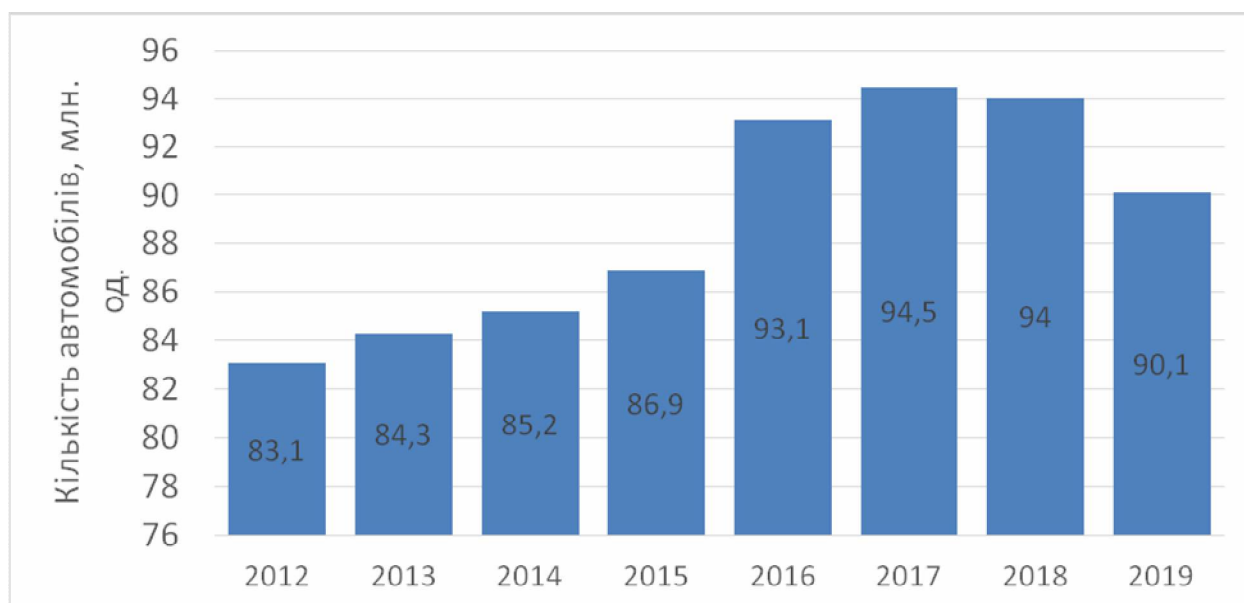


Рисунок 1.1 – Динаміка продажів нових автомобілів в Світі по роках (млн.)

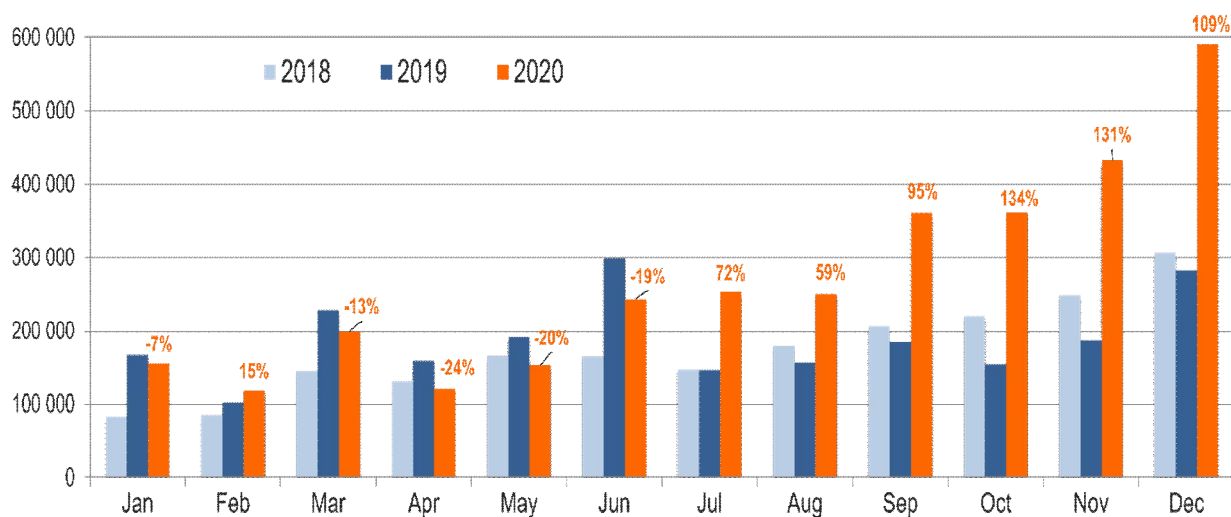


Рисунок 1.2 – Світові продажі електромобілів (BEV + PHEV) в 2020 р. [4]

При цьому уряди країн Світу спонукають, як автовиробників так і автовласників, переходити до екологічних видів транспорту.

1.2 Аналіз ринку екологічно-чистих автомобілів в Україні

В Україні за минулий рік українські номери отримали 85,5 тис. нових легкових автомобілів, що на 3% менше показника 2019 року, повідомляє Асоціація автовиробників України «Укравтопром». При цьому, в 2020 році шість з дванадцяти місяців демонстрували позитивну динаміку в річному

обчисленні: січень (+ 34%), лютий (+ 21%), червень (+ 12%), липень (+ 10%), вересень (+ 6%), грудень (+ 7%).

Негативний результат формувався в березні (-15%), квітні (-47%), травні (-15%), серпні (-16%), жовтні (-6%), листопаді (-17%) (рис. 1.3).

У порівнянні з іншими європейськими ринками падіння автопродажів в Україні не виглядає настільки драматично. Однак причиною цього є вкрай низька споживча активність на ринку нових авто, що склалася ще до пандемії COVID-19, викликана як падінням купівельної спроможності населення, орієнтованого на сегмент недорогих автомобілів, так і політикою лібералізації імпорту старих машин, яка кардинально змінила структуру попиту на авторинку України [5].

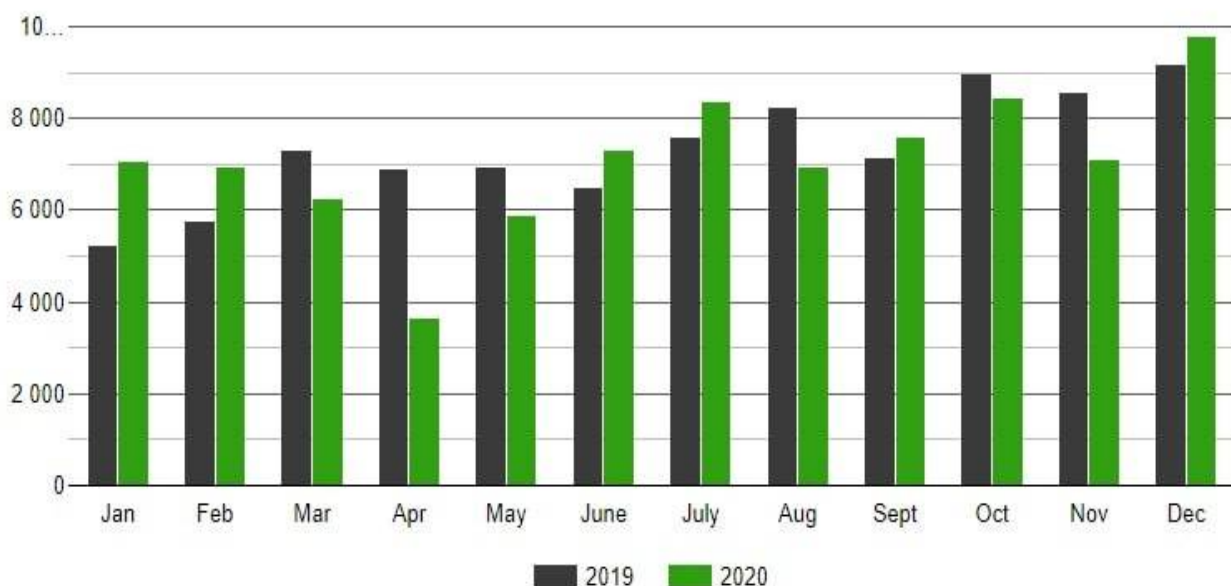


Рисунок 1.3 – Продажі нових легкових автомобілів в Україні за 2020 р. [6]

Дослідницька компанія IRS Group опублікувала свіжу інфографіку українського ринку електромобілів і гібридів за станом на 1 липня 2020 року, а також прогноз їх кількості на 2024 рік. Отже, за червень поточного року українці зареєстрували 790 електромобілів і 973 гібридів, таким чином їх кількість в Україні в цей момент становить 21836 перших і 22046 других [5].

2 АНАЛІЗ ТА ОБГРУНТОВАННЯ КОНСТРУКТИВНИХ СХЕМ ГІБРИДНИХ ЕНЕРГОУСТАНОВОК АВТОМОБІЛІВ

2.1 Основні типи гібридних енергоустановок, що встановлюються на гібридні автомобілі

Основна ідея гібридної технології на автотранспорті полягає у тому, щоб мати не один, а два енергетичних елемента, синергетичне оптимізованих як для забезпечення прискорення, так і ефективного руху на високих швидкостях транспортних засобів (ТЗ). ДВЗ повинен забезпечувати достатню потужність для декількох секунд прискорення та підтримувати крейсерську швидкість на автостраді і при цьому бути економічно ефективним. Тому, ДВЗ великого літражу, необхідний для інтенсивного прискорення, стає певним недоліком ТЗ під час руху трасою, оскільки ДВЗ меншого літражу у цьому випадку є більш економічно ефективним та ідеально підходить для заміського циклу. Використання гібридних енергоустановок дозволяє вирішити ці протиріччя [1].

При розробці компоувальної схеми гібридного автомобіля підвищеної прохідності (рис. 2.1) важливо вирішити наступні завдання [1]:

- загальна економія палива;
- підвищення рівня екологічної безпеки ТЗ;
- потужна віддача енергії при розгоні автомобіля або під час руху на підйом;
- накопичення кінетичної енергії автомобіля при гальмуванні за рахунок використання ефективної системи рекуперації;
- економічне використання енергії в заміському режимі руху автомобіля.

Ефективність електрохімічних акумуляторних батарей при рекуперативному гальмуванні автомобіля та подальшому використанні накопиченої енергії пов'язана з неодноразовим перетворенням енергії з однієї форми в іншу:

- 1) кінетична енергія автомобіля під час гальмування перетворюється в

електричну енергію за допомогою тягової електричної машини, яка працює в режимі генератора;

2) електрична енергія через інвертор (перетворювач напруги) перетворюється в хімічну енергію при заряджанні тягової акумуляторної батареї;

3) при розряджанні тягової акумуляторної батареї хімічна енергія перетворюється в електричну;

4) електрична енергія через інвертор знову подається до тягової електричної машини, яка працює в режимі двигуна і знову перетворюється в механічну енергію руху автомобіля.

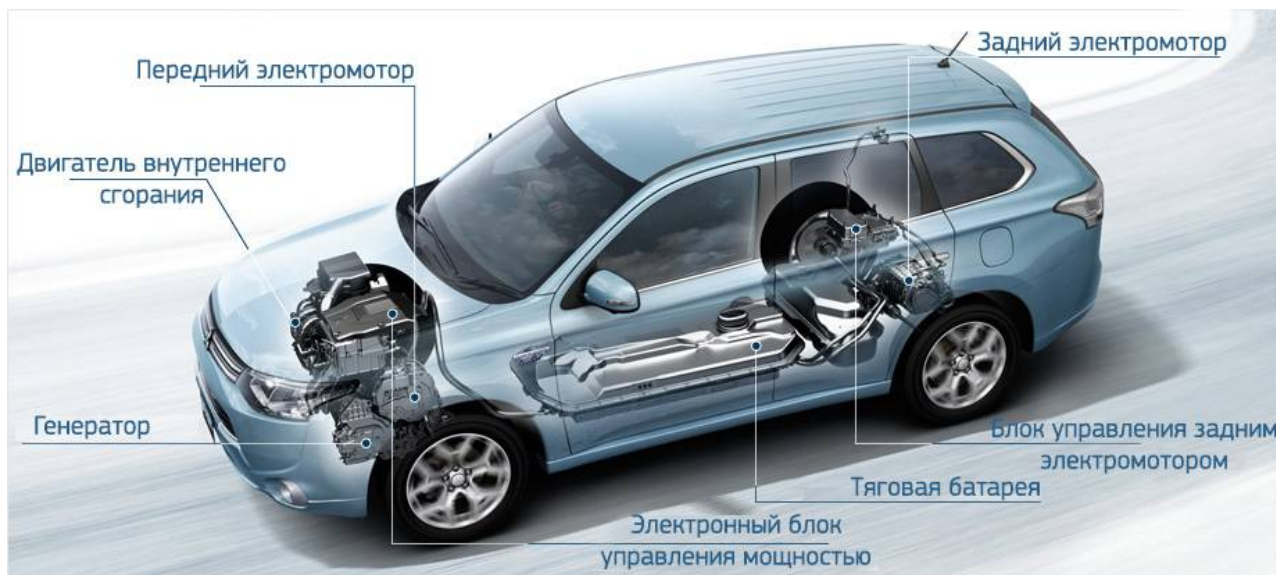


Рисунок 2.1 – Автомобіль підвищеної прохідності з гібридною установкою [7].

В результаті перетворень енергії знижується загальний рівень ефективності гібридної енергоустановки автомобіля. Низька ефективність системи рекуперації гібридного автомобіля обумовлена тим, що термін заряджання ТАБ при рекуперативному гальмуванні автомобіля на затяжному ухилі складає максимум декілька хвилин, чого недостатньо для накопичення надлишку кінетичної енергії тяговими акумуляторними батареями, тому сама будова гібридних енергоустановок з хімічними батареями неминуче призводить до суттєвих втрат кінетичної енергії автомобілів. Тому, виникає необхідність розробки такої гібридної енергоустановки, яка дозволяє усунути, або зменшити

недоліки існуючих технологій. При цьому, одним з основних факторів при розробці є вартість гібридного автомобіля, яка не має перевищувати вартість базового автомобіля більше ніж на 30%.

До технологій, які вже втілені в сучасні енергоустановки автомобілів з високим рівнем екологічної безпеки відносяться [1]:

- використання високовольтних акумуляторних батарей (в автомобілі Lexus RX400h напруга акумуляторних батарей складає 228В, в гібридному автомобілі Cadillac Escalade Hybrid використовується нікель-метал-гідридна АКБ Energy Storage System (ESS) напругою 300В);

- значне зростання напруги живлення (наприклад, в гібридному автомобілі Lexus RX400h напруга живлення тягового електричного двигуна зросла до 650В) та впровадження дворівневої напруги живлення електричних систем та комплексів транспортних засобів;

- використання принципово нових інформаційних панелей;

- обладнання автомобілів новітніми більш енергоємними накопичувачами енергії: акумуляторними батареями, а саме нікель-метал-гідридними (Ni-MH), літій-іонними (Li-ion), конденсаторами великої ємності,

- використання сучасних силових електронних компонентів для керування та розподілу великих енергетичних потоків (напруги, струму);

- використання для приводу автомобіля вентильних електричних машин, які мають високий ККД, високі енергетичні властивості та невеликі масово-габаритні розміри;

- застосування новітніх комп'ютерних технологій для оптимального керування процесами та системами автомобіля, а також сучасних технологій передачі даних, у тому числі бездротових;

- застосування систем штучного інтелекту для керування процесами та системами автомобіля.

Кожен виробник гібридних автомобілів має свою думку на процес виробництва гібридних силових установок для автомобілів. Існує декілька концептуальних підходів та схемних рішень до побудови гібридних силових установок автомобілів. Конструктивно гібридні силові установки можна поділити на чотири структурних схеми, які відрізняються як схемними

рішеннями, так і потужністю використаних тягових електричних машин [8].

Таким чином можна зробити наступні висновки:

на сьогоднішній день існує багато різноманітних варіантів енергоустановок, котрі можуть бути використані при проектуванні гібридних автомобілів підвищеної прохідності;

сучасні конструкції ДВЗ мають достатньо високі показники економічності та екологічності, їх різновид та розміри надають можливість великого вибору для конструкторів гібридних автомобілів підвищеної прохідності;

найбільш перспективною та ефективною розробкою, на сьогоднішній день є гібридні енергоустановки на базі ДВЗ і електродвигуна. Автомобіль з будь-яким типом гібридної технології є більш ефективним, екологічним та економічним, ніж аналог з ДВЗ.

2.2 Аналіз сучасних схем гібридних автомобілів підвищеної прохідності

Переваг гібридних автомобілів підвищеної прохідності в заданих умовах експлуатації можливо реалізувати при правильному, всебічному підході до вибору функціональної схеми ДТЗ.

Відомі декілька варіантів побудови гібридних енергоустановок автомобілів підвищеної прохідності.

При послідовній схемі (рис 2.2) двигун внутрішнього згоряння не має кінематичного зв'язку з ведучими колесами, тому механічна енергія з ДВЗ не використовується для приводу коліс автомобіля, а подається тільки до генератора. Chevrolet Volt (рис. 2.3) побудовано за цією схемою.

Енергія, що виробляється генератором, подається на тяговий електричний двигун і в накопичувач енергії – тягову акумуляторну батарею. Тяговий електродвигун забезпечує весь необхідний силовий і швидкісний діапазони транспортного засобу, а при гальмуванні та русі під ухил за інерцією працює в режимі генератора, забезпечуючи рекуперацію механічної енергії гальмування. При цьому ДВЗ налагоджений на екологічно чистий режим роботи та витрачає мінімальну кількість палива [8].

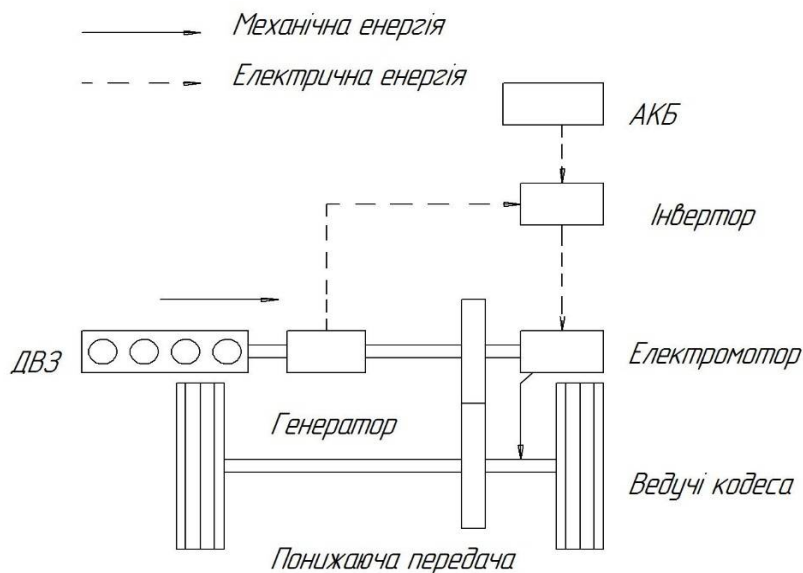


Рисунок 2.2 – Послідовна схема гібридної енергоустановки

Перевагами послідовної схеми є відсутність механічної трансмісії, зниження питомої витрати палива і токсичності відпрацьованих газів за рахунок стабілізації режимів роботи двигуна по потужності і частоті обертання.



Рисунок 2.3 – Chevrolet Volt – гібридний автомобіль з послідовною схемою [7].

Недоліки послідовної схеми – це зменшення ефективності і ККД за рахунок подвійного перетворення енергії: механічної ДВЗ в електричну

генератора або тягового акумулятора і далі в механічну енергію електродвигуна.

Така схема практично не використовується в автомобілях підвищеної прохідності через складність в реалізації повнопривідного режиму.

В паралельній схемі (рис 2.4) ДВЗ і тяговий електричний двигун або двигуни, який отримують енергію від тягової акумуляторної батареї, передають сумарний момент ведучим колесам. Можливий також варіант паралельної схеми, при якому електричний двигун-генератор встановлюється в приводі одного чи обох ведучих мостів. Принцип роботи даного типу взаємодії двох модулів відбувається за рахунок електроніки автомобіля, електродвигунів і ДВЗ. Двигуни з'єднані з коробкою передач за допомогою планетарної передачі.

Існують модифікації з електродвигуном окремо від ДВЗ, вони представляють собою складну систему, але в той же час ефективну. Цей модуль складається з двох електромоторів, тягового з'єданого через планетарну передачу з другим, який служить генератором і стартером.

У такій схемі ДВЗ не пов'язаний безпосередньо з колесами, що дозволяє постійно передавати частину моменту генератору і заряджати тягову батарею.

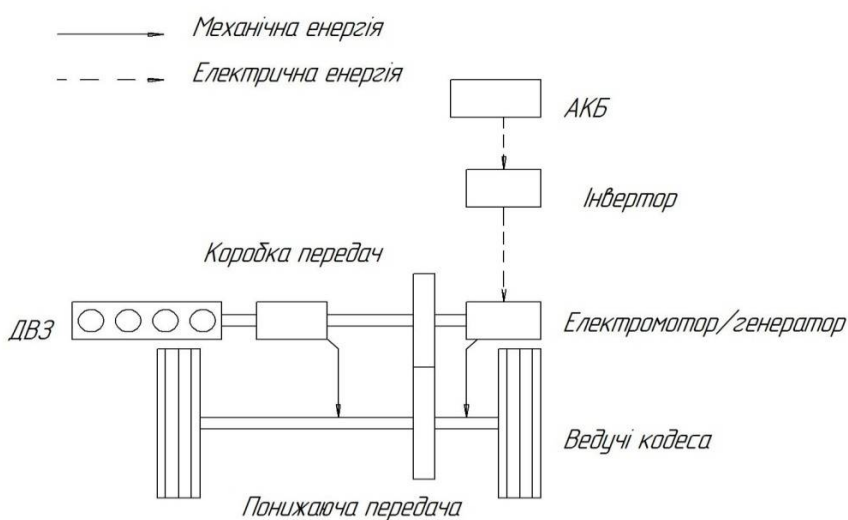


Рисунок 2.4 – Паралельна схема гібридної енергоустановки

Перевагою такого варіанту слід визначити певне спрощення трансмісії, а також більш високий ККД передачі енергії від ДВЗ до ведучих коліс, в

порівнянні з послідовною схемою.

Недолік – обов'язкове ускладнення електричної трансмісії для забезпечення підведення потужності від тягової електричної машини, яка при гальмуванні та русі під ухил за інерцією теж переходить у генераторний режим, забезпечуючи рекуперацію механічної енергії гальмування.

Один з останніх зразків паралельної схеми – гібридна силова енергоустановка BMW 530 E iPerformance (рис.2.5).

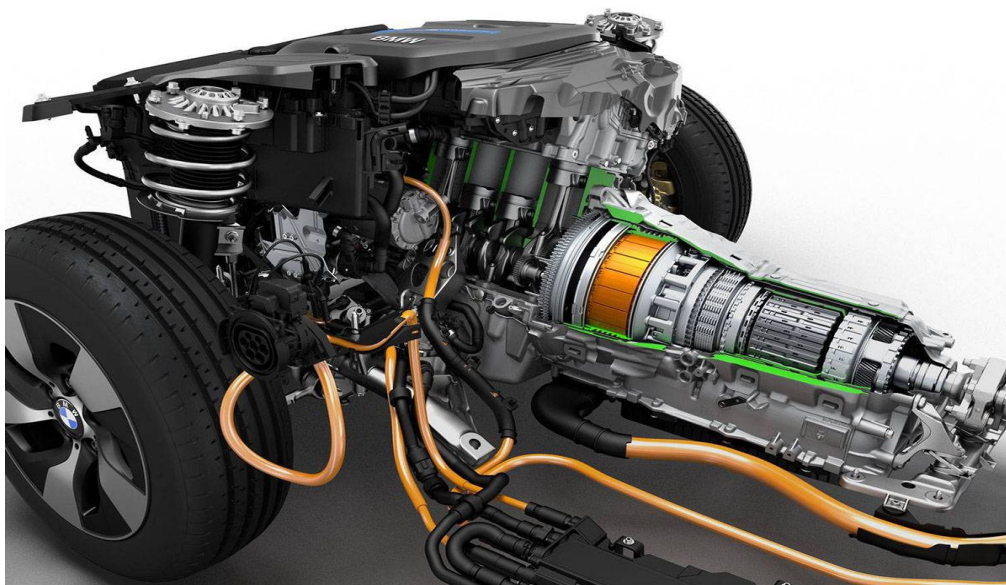


Рисунок 2.5 – BMW 530 E iPerformance [7]

Послідовно-паралельна схема трансмісії (рис. 2.6) поєднує в собі послідовну гібридну технологію з паралельною для отримання максимальних переваг обох систем. Вона використовує комбінацію двох (і більш) джерел механічної енергії. Залежно від умов руху використовується або тільки тяговий електричний двигун, або автомобіль приводиться в рух ДВЗ спільно з тяговим електричним двигуном для досягнення більш високого рівня ефективності [8].

При навантаженнях, що вимагають підвищеної потужності, генератор автомобіля може не видати потрібну енергію, і в такому випадку електродвигун живиться додатково від акумулятора, як при паралельній схемі взаємодії.

В даній схемі передбачений додатковий генератор, він заряджає ТАБ. Електродвигун необхідний тільки для привода ведучих коліс і для забезпечення рекуперативного гальмування.

Частина крутного моменту, що переходить від двигуна внутрішнього згоряння, йде на провідні колеса, а деяка його частина - для роботи генератора, який в свою чергу живить електродвигун і заряджає ТАБ.

За направлення крутного моменту на колеса, генератор або електродвигун і його співвідношенні відповідає планетарний механізм - розподільник потужності. Регулюванням подачі потужності з генератора і батареї займається електронний блок управління автомобіля.

Ця технологія застосовується на гібридних повнопривідних автомобілях. На передній осі встановлено ДВЗ з електродвигуном по паралельній схемі, а на задній тільки електродвигун має зв'язок з ДВЗ по послідовній схемі.

Надалі, коли це необхідне, система здійснює привід коліс з одночасним зарядом акумуляторної батареї за допомогою електричного генератора.

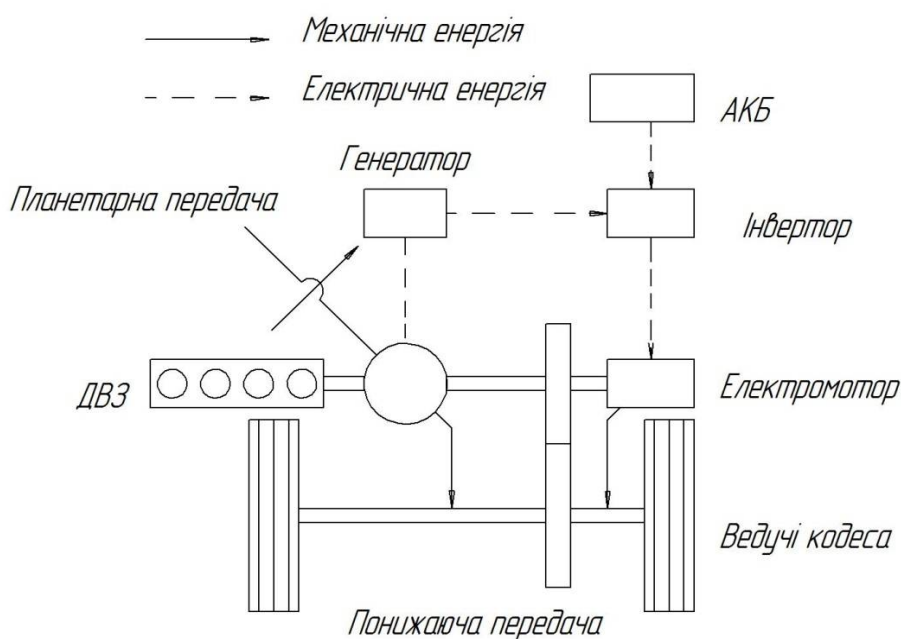


Рисунок 2.6 – Послідовно-паралельна схема гібридної трансмісії

Гібридні автомобілі, зібрані по послідовно-паралельній схемі, комплектуються, як правило, більш потужними електричними двигунами, тому здатні здійснювати рух, як в комбінованому режимі, так і тільки на електричній тязі, що істотно підвищує екологічну чистоту автомобіля, особливо в міському циклі [8].

2.3 Аналіз умов експлуатації гібридних автомобілів підвищеної прохідності

Одним з основних питань, що має бути вирішене при розробці методики, є вибір їздового циклу, який би в найбільш повній мірі імітував режими руху автомобіля в умовах експлуатації. Для автомобілів підвищеної прохідності не існує їздового циклу, який би дозволив оцінити паливно-економічні та екологічні властивості з урахуванням прохідності (тобто рух на дорогах та бездоріжжі).

Сьогодні ще немає єдиних методів оцінки прохідності автомобілів у сукупності з паливною економічністю та екологічністю. Параметри прохідності автомобілів визначають експериментально або аналітично. Експериментальний метод застосовується здебільшого, коли треба оцінити якості конструкції дослідного зразка автомобіля або одержати порівняльні характеристики прохідності альтернативних автомобілів. Аналітичний метод – на початковій стадії проектування перспективного автомобіля та при математичному моделюванні його руху в типових умовах експлуатації з метою визначення оптимального варіанта конструкції, раціонального типажу ДТЗ, раціональних маршрутів та ін.

Прохідність автомобілів оцінюється показниками профільної та опорно-зчіпної прохідності. Значення показників профільної прохідності нормовані та наведені у нормативних документах [9-11]. Вибір цих показників пов'язаний з компоновальною схемою, дизайном, габаритними параметрами ДТЗ та не залежить від типу ГЕУ тому у даній роботі не розглядається.

Показники опорно-зчіпної прохідності характеризують можливість руху автомобіля в важких дорожніх умовах та по поверхнях, що деформуються. Опорно-зчіпна прохідність залежить від параметрів механізмів та систем автомобілів, а також від несучих властивостей опорних поверхонь. Найбільш на прохідність впливають параметри ЕУ, трансмісії та рушія. Показники опорно-зчіпної прохідності пов'язані з показниками тягово-швидкісних властивостей.

Деякі з них характеризують ступінь рухомості ДТЗ у важких дорожніх умовах. До таких належать: максимальний динамічний фактор, динамічний фактор по зчепленню, максимальний підйом, що долається автомобілем, питома потужність автомобіля. Використовуються також специфічні показники опорно-зчіпної прохідності, що регламентовані [9, 10]. Загальна кількість показників досягає 18. Серед них мають місце відносні або питомі показники, що визначають абсолютні значення параметрів ДТЗ (потужність опору руху, вільна сила тяги). Однак, ці показники не дозволяють порівнювати прохідність гібридних автомобілів підвищеної прохідності різних моделей, або при використанні в їх конструкції різних ГЕУ, агрегатів чи параметрів трансмісії тощо. Для порівняльної оцінки прохідності ДТЗ в різних дорожніх умовах використовують критерії прохідності [12-14].

Найбільш поширена оцінка прохідності автомобіля по характеристиці ґрунтових умов:

$$P_{cp} = \operatorname{tg} \alpha_{\max} = \kappa_{cy} \cdot \varphi - f, \quad (2.1)$$

де κ_{cy} – коефіцієнт зчіпної ваги; φ – коефіцієнт зчеплення коліс з дорогою;
 f – коефіцієнт опору коченню коліс.

Цей критерій досить простий та наглядний, але не враховує усіх особливостей взаємодії коліс з опорною поверхнею, що деформується, тому можливо використати критерій прохідності, що чисельно дорівнює запасу питомої сили тяги за умови зчеплення, яка може бути використана на подолання перешкод, розгін та інших значних дорожніх опорів:

$$P_i = \kappa_{\varphi} \varphi - f_z - f_k - f_o - (1 - \kappa_{cy}) f_u, \quad (2.2)$$

де κ_{φ} – коефіцієнт реалізації зчеплення ведучих коліс з опорною

поверхнею. Рекомендації щодо визначення κ_ϕ для автомобілів з різними типами трансмісії наведено у [12-15];

f_c – коефіцієнт опору ґрунту коченню коліс;

f_k – коефіцієнт опору руху корпусу автомобіля по ґрунту;

f_o – коефіцієнт бульдозерного (нагрібання ґрунту колесом) опору руху коченню коліс по ґрунту;

f_u – коефіцієнт опору шини коченню коліс.

Прохідність автомобілів оцінюють також відносними показниками:

$$P_c = 1 - f_c / \phi, \quad (2.3)$$

$$P_T = 1 - f / D_{\max}, \quad (2.4)$$

де P_c – критерій прохідності по зчепленню коліс с ґрунтом; P_T – критерій прохідності по силі тяги двигуна.

У роботі [16] пропоновані комплексні критерії прохідності, що характеризують відносну ефективність при використанні автомобілів на бездоріжжі:

$$P_K' = \frac{M_{BB} \cdot V_B}{M_B \cdot V}, \quad (2.5)$$

$$P_K'' = \frac{M_{BB} \cdot S_B \cdot Q \cdot t}{M_B \cdot S \cdot Q_B \cdot t_B}, \quad (2.6)$$

де $M_{BB}, V_B, S_B, Q_B, t_B$ – відповідно маса вантажу, швидкість, довжина маршруту, витрати палива (або електрики) та час їзди в умовах бездоріжжя;

M_B, V_B, S, Q, t – відповідно маса вантажу, швидкість, довжина маршруту, витрати палива (або електрики) та час подолання маршруту на дорозі з твердим покриттям, що приймається як еталон.

Для порівняння різних автомобілів у однакових дорожніх умовах зручно використовувати абсолютні показники продуктивності автомобіля на бездоріжжі чи продуктивність, віднесену до одиниці витрати палива або електрики:

$$P_E = M_B \cdot V / Q, \quad (2.7)$$

Показники прохідності автомобілів визначаються не тільки конструктивними чи технічними можливостями автомобіля, але й властивостями ґрунтів. Для вирішення конкретних практичних задач при оцінці прохідності механічні властивості ґрунтів можуть бути представлені осередненими показниками чи статистичними характеристиками [12, 16-17].

2.4 Вибір раціональної схеми гібридної енергоустановки

При побудові автомобіля з високим рівнем екологічної безпеки однією з найбільш ефективних схем гібридних енергоустановок є послідовно-паралельна схема, оскільки початок руху і рух на невисоких швидкостях здійснюється або виключно на електричній тязі, або комбіновано за допомогою ДВЗ та електродвигуна, що істотно підвищує екологічну безпеку автомобіля.

При математичному моделюванні тягово-швидкісних характеристик автомобіля з гібридною енергоустановкою у різних режимах руху необхідно:

розробити функціональну модель гібридного автомобіля, в яку входять наступні підсистеми: модель гібридної енергоустановки, модель системи накопичування та рекуперації енергії, модель трансмісії, модель системи управління, модель факторів зовнішнього впливу на автомобіль, модель визначення необхідної потужності та інші підсистеми;

скласти математичну модель тягово-швидкісних характеристик автомобіля з ДВЗ та тяговим електричним двигуном;

розробити методику оцінювання властивостей динамічності, економічності, екологічності гібридних автомобілів підвищеної прохідності в експлуатаційних умовах з врахуванням конструктивних особливостей їх ГЕУ.

3 УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДИКИ ОЦІНКИ ЕФЕКТИВНОСТІ КОНСТРУКТИВНОЇ СХЕМИ ГІБРИДНОГО АВТОМОБІЛЯ

3.1 Організація процесу оцінки конструктивної схеми гібридного автомобіля

Для оцінки техніко-експлуатаційних показників ДТЗ при випробуваннях за їздовими циклами широко використовується математичне моделювання із застосуванням експериментальних характеристик агрегатів.

В роботі [18] розроблена методика розрахункового визначення паливної економічності автомобіля в режимах їздового циклу. Її можливо застосовувати в режимах, коли двигун працює для приводу коліс ДТЗ, у разі роботи в режимі приводу генератора. Суть методики полягає у визначенні крутного моменту і частоти обертання ДВЗ в кожному режимі, визначенні для них паливно-економічних, екологічних показників та параметрів руху і обчислення витрати палива з врахуванням часу роботи двигуна в певному режимі.

Також необхідно визначити питоме споживання електричної енергії автомобілем в режимі електроприводу у всьому діапазоні експлуатаційних навантажень і перевести його в еквівалентні витрати палива, розраховані за цінами на бензин та електричну енергію на дійсний період.

В роботах [19, 20] запропоновано оцінку паливної економічності в залежності від вартості енергоносіїв на добовий пробіг, а в роботі [21] наведено методики розрахунку основних характеристик гібридного автомобіля, а саме: потужності електроприводу, часу розгону на електроприводі, розрахунку витраченої електроенергії, максимальної швидкості на електроприводі тощо.

В роботі [22] проведене математичне моделювання процесу електродинамічного гальмування гібридного автомобіля та рекуперації енергії.

Аналіз досліджень показує, що є методики визначення експлуатаційних показників гібридних автомобілів в режимі руху на електриці, але в них враховуються окремі режими, або показники та комплексних досліджень

гібридного автомобіля з точки зору ефективності його компоувальної схеми при врахуванні певних умов експлуатації ще не достатньо.

З використанням підходів [18-20, 23, 24, 25] була розроблена методика оцінки тягово-швидкісних, паливно-економічних та екологічних показників гібридного автомобіля підвищеної прохідності в експлуатаційних умовах при виборі конструктивної схеми та узгодженості їх функціональних елементів, яка представлена у вигляді блок-схеми алгоритму на рис. 3.1.

У відповідності до поставленої мети та для забезпечення заданих показників гібридного автомобіля підвищеної прохідності, висуваються техніко-експлуатаційні вимоги щодо призначення та умов експлуатації (блок 1) і формуються екологічні, економічні та тягово-швидкісні вимоги та критерії їх оцінки (блок 2). На підставі визначення заданих показників та характеристик, обирається раціональна компоувальна схема гібридної енергоустановки (блок 3). В блоці 4 відбувається формування вимог до показників елементів ГЕУ (ДВЗ, електродвигунів, ТАБ тощо) гібридних автомобілів підвищеної прохідності.

Далі відбувається вибір конструктивних параметрів та характеристик агрегатів гібридної енергоустановки для визначеного гібридного автомобіля (блок 5) та вибір конструктивної схеми трансмісії, враховуючи характеристики (блок 5) та вибір конструктивної схеми трансмісії, враховуючи характеристики передбачуваних дорожніх умов експлуатації, швидкісні режими руху та обрану конструктивну схему ГЕУ (блок 6). У блоці 7 здійснюється узгодження конструктивних параметрів ГЕУ, системи рекуперації та накопичування енергії, трансмісії та ходової частини і кузова. В блоці 8 оцінюються показники гібридного автомобіля підвищеної прохідності в окремих режимах та їздових циклах на математичній моделі І на останок, здійснюється оцінка тієї чи іншої схеми гібридної енергоустановки та трансмісії на основних етапах вибору чи на стадії проектування (блок 9).

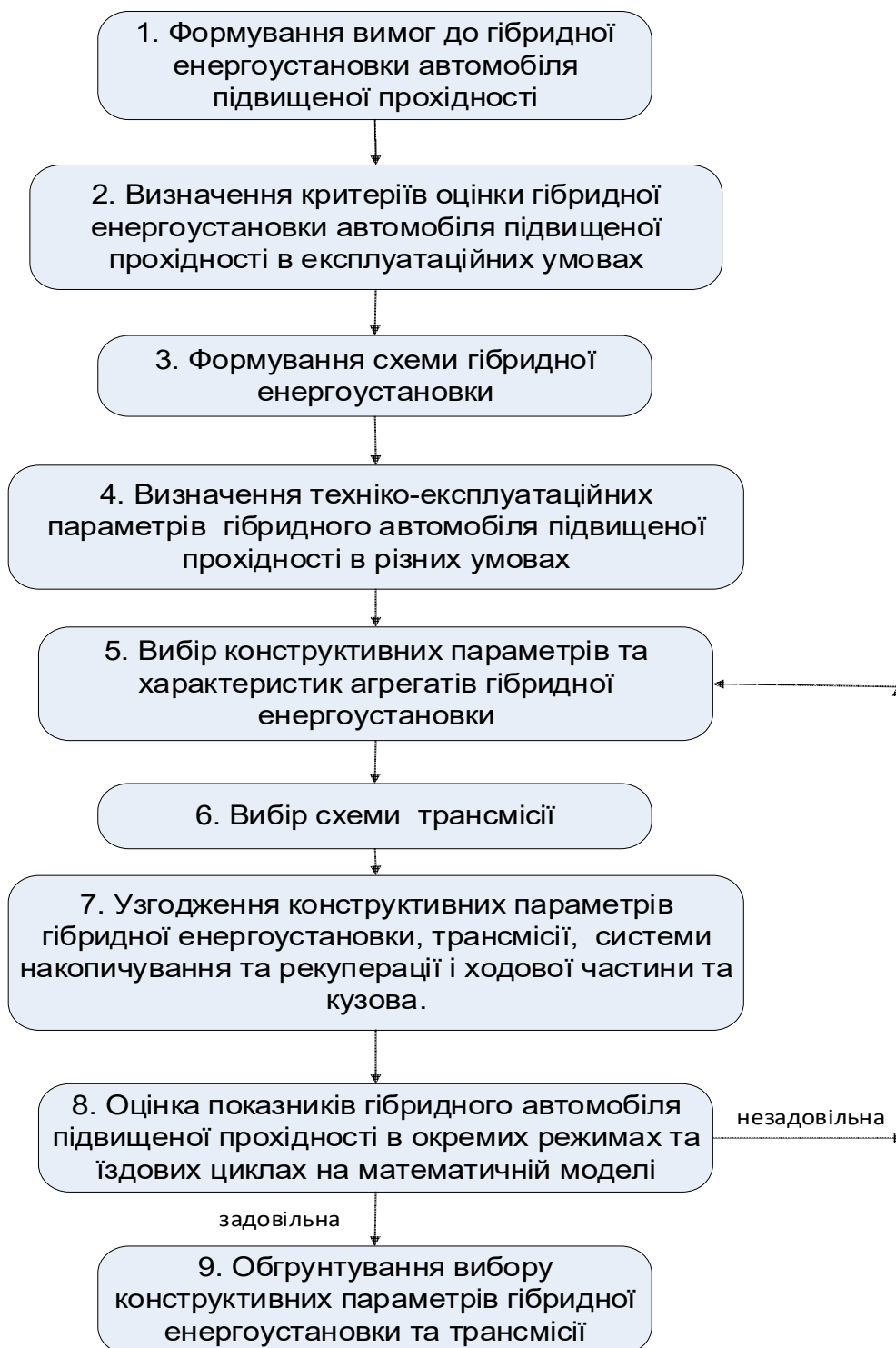


Рисунок 3.1 – Блок-схема алгоритму вибору конструктивних параметрів гібридного автомобіля підвищеної прохідності

Зворотній зв'язок показує, що рішення щодо вибору схеми ГЕУ може

бути прийнято за результатами оцінки після виконання оцінки ГЕУ на всіх етапах.

Вирішення поставлених задач, розв'язання задач які необхідно вирішити для досягнення поставленої мети, можливе тільки з широким застосуванням методів математичного моделювання та наступних експериментальних досліджень.

Для реалізації методики викладено основні підходи до математичного моделювання [23-25, 26, 27] руху гібридного автомобіля підвищеної прохідності в окремих режимах та їздових циклах.

Набір режимів роботи ДТЗ на реальному маршруті відрізняється від стандартизованих циклів для тих чи інших типів ДТЗ, що обумовлюється часто змінними дорожніми, транспортними умовами.

3.2 Моделювання експлуатаційних режимів

На сьогодні відомо багато різновидів випробувальних циклів. Деякі з цих циклів були отримані в результаті вивчення режимів руху автомобілів в конкретних містах і включають найбільш характерні режими, через що вони є досить простими і доступними для імітації при проведенні експериментальних і розрахункових досліджень.

Для випробування легкових автомобілів та легких вантажівок на техніко-експлуатаційні показники, застосовують модернізований їздовий цикл (рис. 3.2), який включає чотири звичайних набори міських режимів і додатковий набір режимів, який імітує рух автомобіля за містом. Загальний час виконання циклу – 1220 с, довжина умовного шляху автомобілів складає 11,007 км, середня швидкість - 33,6 км/год, максимальна швидкість - 120 км/год.

Але існуючі їздові цикли не в повній мірі відображають умови експлуатації автомобілів підвищеної прохідності. При русі в умовах бездоріжжя ДВЗ гібридної енергоустановки працює у не оптимальних режимах (значно підвищені оберти та навантаження), через що витрати палива і викидів

шкідливих речовин значно підвищуються. Відповідно, більшу частину руху в умовах бездоріжжя, будуть ввімкнуті електродвигуни обох вісей, які будуть працювати під достатньо значним навантаженням, через що будуть і підвищені витрати електричної енергії, яку в умовах бездоріжжя може давати тільки ДВЗ через генератор. Крім того ДВЗ буде ще додавати крутного моменту на передню вісь. Таким чином, імітація режимів руху в умовах бездоріжжя досить ускладнена (складне обладнання, суттєві матеріальні витрати).

Щоб найбільш повно оцінити тягово-швидкісні, паливно-економічні, та екологічні властивості автомобілів підвищеної прохідності за умови оснащення їх гібридними енергоустановками різної конструктивної схеми та алгоритмів керування була удосконалена загальна методика для звичайних автомобілів (щодо роботи ДВЗ, як складової ГЕУ), в основі якої лежить математична модель визначення показників тягово-швидкісних властивостей, використання палива та забруднюючих викидів в окремих режимах та в стандартних їздових циклах. Для опису режимів роботи електродвигунів розглянуті методики [8, 20-21, 26].

Для моделювання за базові їздові цикли вибрано Модернізований міський випробувальний цикл Європейського Союзу, а також створено їздовий цикл для випробування гібридних автомобілів, який складається з режимів руху, що характерні для автомобілів підвищеної прохідності в складних дорожніх умовах.

З аналізу досліджень багатьох авторів [12, 17, 28, 29], рекомендацій щодо прийомів подолання бездоріжжя [30, 31], а також власних досліджень автора було розроблено додаткові режими, що імітують рух автомобіля підвищеної прохідності в умовах бездоріжжя (табл. 3.1). Рух у цих режимах характеризується низькими швидкостями, ввімкнених усіх ведучих мостів та високим коефіцієнтом опору коченню (від 0,02 до 0,07 [12, 29]).

Послідовність режимів руху автомобіля задається сукупністю параметрів у вигляді універсальної матриці, де вказується відмітка пройденого шляху, швидкість автомобіля, величина прискорення (сповільнення) та інші параметри,

за якими встановлюється відповідний режим руху на кожній ділянці.

За режимами руху автомобіля визначаються параметри роботи двигуна, з використанням яких на математичній моделі ДВЗ як споживача палива і

Таблиця 3.1 – Режими операційної карти їздового циклу

Номер операції	Відмітка шляху, м	Послідовність операцій
Рух в умовах бездоріжжя з усіма ведучими мостами та заблокованими диференціалами (при необхідності).		
1	0-200	Розгін до швидкості 20 км/год. Продовження руху зі сталою швидкістю 20 км/год.
2	200-350	Сповільнення двигуном до швидкості 10 км/год. Рух зі сталою швидкістю 10 км/год.
3	350-500	Гальмування до швидкості 5 км/год. Продовження руху зі сталою швидкістю 5 км/год.
4	500-700	Розгін до швидкості 25 км/год. Продовження руху зі сталою швидкістю 25 км/год.
5	700-1000	Сповільнення двигуном до швидкості 5 км/год. Рух зі сталою швидкістю 5 км/год. Гальмування до відмітки 5000 м. Вимкнення контролюючих приладів

повітря, розраховуються витрата палива та викиди ЗР на кожній ділянці їздового циклу та у циклі в цілому, а також розраховуються витрати електроенергії.

3.3 Вибір критеріїв оцінки ефективності конструктивної схеми

Оптимальний конструктивний набір (компоновка), буде визначатися як умовами експлуатації автомобіля, так і показниками динамічності, економічності і екологічності. Оскільки названі характеристики оцінюють за багатьма показниками, то слід установити перелік критеріїв для кожного варіанту конструктивної схеми та ступінь їх важливості [32, 33].

При виборі критеріїв оцінки компоновальних схем гібридних автомобілів необхідно добиватися, щоб абсолютні значення критеріїв були одного порядку для забезпечення оптимальних показників експлуатаційних властивостей.

Для цього об'єднано критерії паливної економічності, динамічності, екологічності в групах. В свою чергу групові критерії окремих властивостей об'єднано в інтегральні критерії.

Цей підхід [34] прийнятний для вибору того чи іншого варіанту конструкції гібридного автомобіля.

В основі підходу лежать задачі визначення узагальненої функції взаємодії гібридного автомобіля з середовищем.

З використанням наведених методів визначено групові та інтегральні критерії тягово-швидкісних властивостей, паливної економічності та екологічності, коефіцієнти вагомості окремих вимірювачів і сформована узагальнена цільова функція, що дозволяє провести порівняльну оцінку можливих варіантів конструкції гібридного автомобіля.

Окремими критеріями тягово-швидкісних властивостей обрано середні швидкості гібридних автомобілів підвищеної прохідності в стандартному та розробленому їздовому циклах, окремими критеріями паливної економічності – витрати палива, віднесені до 1 км шляху їздових циклів, окремими екологічними критеріями – викиди забруднюючих речовин віднесені до 1 км шляху їздових циклів.

Груповий критерій тягово-швидкісних властивостей об'єднує окремі критерії властивостей, зокрема середню швидкість в j -му їздовому циклі:

$$K_V = \sum_{j=1}^m \alpha_j \cdot \frac{q_{Vj}}{q_{V_Bj}}, \quad (3.1)$$

де q_{V_Bj} – еталонна середня швидкість в j -му їздовому циклі, км/год;

q_{Vj} – середня швидкість в j -му їздовому циклі, км/год;

α_j – коефіцієнти вагомості показників відповідно до режимів циклу

Європейського Союзу та розробленому їздовому циклу ($\sum \alpha_j = 1$).

Груповий критерій паливної економічності об'єднує окремі критерії паливної економічності в j -му їздовому циклі:

$$K_Q = \sum_{j=1}^m \beta_j \cdot \frac{q_{Q_{Bj}}}{q_{Qj}}, \quad (3.2)$$

де $q_{Q_{Bj}}$ – еталонна питома витрата палива в j -му їздовому циклі, г/км;

q_{Qj} – питома витрата палива та електроенергії в j -му циклі, г/км;

β_j – коефіцієнти вагомості витрати палива, електроенергії ($\sum \beta_j = 1$).

Груповий критерій рівня забруднення середовища гібридним автомобілем з врахуванням j -х умов має вигляд:

$$K_B = \sum_{j=1}^m \gamma_j \frac{q_{B_{Bj}}}{q_{Bj}}, \quad (3.3)$$

де $q_{B_{Bj}}$ - базові питомі викиди забруднюючих речовин, зведені за до викидів оксиду вуглецю в j -х умовах, г/км;

q_{Bj} - питомі викиди забруднюючих речовин, зведені за допомогою коефіцієнтів відносної агресивності до викидів оксиду вуглецю в j -х умовах, г/км;

γ_j - коефіцієнти вагомості забруднення в j -х умовах ($\sum \gamma_i = 1$).

Для визначення коефіцієнтів вагомості найбільш розповсюдженим є метод експертних оцінок [34-35], у відповідності з яким кожен експерт виконує упорядковування часткових цілей або вимірювачів у відповідності з встановленою головною ціллю.

Об'єднання групових критеріїв в інтегральний критерій показників гібридних автомобілів здійснюється наступним чином:

$$K_{GA} = \varphi_1 K_V + \varphi_2 K_Q + \varphi_3 K_B, \quad (3.4)$$

де $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3$ – коефіцієнти вагомості групових показників динамічності, економічності, екологічності ($\sum \varphi_i = 1$).

Отримані значення коефіцієнтів вагомості техніко-експлуатаційних показників гібридних автомобілів підвищеної прохідності в залежності від умов експлуатації наведено у табл. 3.2.

У якості експертів було залучено 12 фахівців, які мають досвід експлуатації гібридних автомобілів. Опитування експертів відбувалось за допомогою «on line» опитувальних анкет, які заповнювали користувачі відповідних сайтів та соціальних мереж.

Інтегральні критерії демонструють, наскільки той чи інший варіант конструктивної схеми змінює показники гібридного автомобіля підвищеної прохідності в порівнянні з еталонним варіантом.

Таблиця 3.2 – Коефіцієнти вагомості техніко-експлуатаційних показників гібридних автомобілів підвищеної прохідності (за методом експертних оцінок)

Показники	Їздовий цикл		
	Модернізований їздовий цикл Європейського Союзу		Бездоріжжя
	ECE City Cycle Urban	EUDC City Cycle Extra-urban	
Тягово-швидкісні	0,268	0,312	0,42
Паливна економічність	0,349	0,367	0,284
Викиди забруднюючих речовин	0,412	0,309	0,279

Для прийняття оптимального рішення необхідно встановити „шкалу значущості” всіх вимірювачів властивостей гібридних автомобілів підвищеної прохідності, що розглядаються. З використанням цієї шкали формується одномірна функція якості для оцінки та вибору конструктивної схеми гібридних автомобілів, які мають вигляд:

(3.5)

Якщо прийняти до уваги тільки значення вимірювачів, що характеризують тягово-швидкісні властивості, паливну економічність та екологічність, то в залежності від призначення та умов експлуатації ДТЗ,

коефіцієнт вагомості тягово-швидкісних властивості $\varphi_1=0,21-0,57$, а коефіцієнт вагомості паливної економічності $\varphi_2=0,33-0,52$ [34, 35], коефіцієнт екологічності $\varphi_3=0,38-0,63$. Враховуючи вище викладені підходи та власні дослідження автора, для оцінки компоновочної схеми гібридних автомобілів прийнято наступні коефіцієнти вагомості: для тягово-швидкісних властивостей $\varphi_1=0,233$, для паливної економічності $\varphi_2=0,356$ та екологічності $\varphi_3=0,421$.

Для оцінки показників техніко – експлуатаційних властивостей гібридних автомобілів підвищеної прохідності в різних умовах експлуатації широко використовується математичне моделювання із застосуванням експериментальних характеристик ДВЗ [27].

ВИСНОВКИ

1. Обґрунтовано доцільність використання їзових циклів для визначення показників тягово-швидкісних, паливно-економічних та екологічних властивостей гібридних автомобілів підвищеної прохідності, що враховує особливості експлуатації цих автомобілів.

2. Удосконалена загальна методика визначення параметрів руху, паливно-економічних та екологічних показників гібридних автомобілів, в основі якої лежить математична модель визначення тягово-швидкісних показників руху, паливної економічності та забруднюючих викидів в окремих режимах, стандартних їзових циклах та на експлуатаційних маршрутах.

3. Розроблено комплекс окремих, групових та інтегральних критеріїв для оцінювання показників тягово-швидкісних властивостей, ефективності використання палива та рівня забруднення середовища гібридними автомобілями підвищеної прохідності з врахуванням їх умов експлуатації.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Матейчик В. П. Особливості конверсії автомобіля з ДВЗ в гібридний автомобіль / В.П. Матейчик, М.П. Цюман, В.В. Яновский, Д.Є. Руденко // Вісник Національного транспортного університету. Серія “Технічні науки”. Науково-технічний збірник. – К.: НТУ, 2017. – Вип. 3 (39).
2. Статистика автопродажів // сайт Proautomoto. – Режим доступу: <https://proautomoto.com/category/202-2020>.
3. Статистика и рейтинги продаж автомобилей в Море в 2020 году // Сайт Автостатистика. – Режим доступу: <http://serega.icnet.ru/cars-sales-actual-world.html>.
4. Global Plug-in Vehicle Sales Reached over 3,2 Million in 2020 // The electric vehicle world sales database – Режим доступу: <http://www.ev-volumes.com>
5. Статистика продаж автомобилей в Украине за 2020 год // Сайт Автостатистика. – Режим доступу: <https://proautomoto.com/category/198-avtoprodazhi-v-ukraine-v-2020>.
6. Статистика продажів нових легкових автомобілів в Україні за 2020 // Асоціація автовиробників України “Укравтопром”. – Режим доступу: <https://ukrautoprom.com.ua/>.
7. Устройство гибридного автомобиля // Autoleek.ru. Устройство и эксплуатация автомобиля – Режим доступу: <http://autoleek.ru/dvigatel/gibridnaja-silovaja-ustanovka/ustrojstvo-gibridnogo-avtomobilya.html>.
8. Бажинов О.В. Гібридні автомобілі / О.В. Бажинов, О.П. Смирнов, С.А. Серіков, А.В. Гнатов, А.В. Колесніков – Харків ХНАДУ, 2008 – 327с.
9. Автомобили. Параметры проходимости. Термины и определения: ГОСТ 22653-77. – [Введен 1978-07-01]. – М.: Центральный научно-исследовательский автомобильный и автомоторный институт (НАМИ), 1979. – 6 с. – (Государственный стандарт).
10. Параметры проходимости полноприводных автомобилей: ОСТ 37.001.061-74. – [Введен 1975-01-01]. – М.: Министерство автомобильной

промышленности, 1975. – 9 с. – (Отраслевой стандарт).

11. Автомобили. Качение колеса. Термины и определения: ГОСТ 17697-72. – [Введен 1973-07-01]. – М.: НАМИ: ВНИИКИ, 1973. – 26 с. – (Государственный стандарт).

12. Агейкин Я.С. Проходимость автомобилей / Я.С. Агейкин. – М.: Машиностроение, 1981. – 232 с.

13. Кошарний М.Ф. Основи механіки та енергетики автомобіля / М.Ф. Кошарний. – К.: Вища школа, 1992. – 200 с.

14. Савенок Д.В Розробка критерію екологічної безпеки автомобіля підвищеної прохідності / Д.В. Савенок // Вісник Донецького інституту автомобільного транспорту. – 2008. -№1. – С. 25-29.

15. Мотін В.І. Дослідження реалізації зчіпних можливостей ведучих коліс автомобіля з дорогою // Вісник Донецького інституту автомобільного транспорту. – 2007. – №3. – С. 32-38.

16. Кнороз В.И. Оценка проходимости колесных машин / В.И. Кнороз, И.П. Петров // Труды НАМИ: сб. научн. тр. – М., 1973. –Вип. 142. – С. 66-76.

17. Кошарный Н.Ф. Техничко-эксплуатационный свойства автомобилей высокой проходимости / Н.Ф Кошарный. – К.: Вища школа, 1981. – 208 с.

18. Терехов Е.М. Методика и программа определения расхода топлива и выбросов токсичных компонентов в отработавших газах бензинового двигателя при движении автомобиля по ездовому циклу / Е.М. Терехов // Труды НАМИ.– М., 1982.– Вып. 186.– С. 44-46.

19. Смирнова А. О. Методика оцінки паливної економічності гібридних автомобілів / А. О. Смирнова // Вісник Національного технічного університету "ХПІ". Сер. : Автомобіле- та тракторобудування. - 2013. - № 30. - С. 114-120. - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/vcpia_2013_30_22

20. Смирнов О.П. Науково-технічні основи підвищення ефективності експлуатації гібридних транспортних засобів: дис. на здобуття наук. ступеня. доктора техн. наук: спец. 05.22.20 – «Експлуатація та ремонт засобів транспорту» / Харківський національний автомобільно-дорожній університет,

Харків, 2016. – 426 с.

21. Дзадненко В.Я. Математическая модель конверсионного гибридного автомобиля в режиме электропривода // Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного университета, вып. 72, 2016. – с.41–48.

22. Сітовський О.П. Обґрунтування та вибір критеріїв оцінки процесу електродинамічного гальмування під час руху гібридного транспортного засобу на затяжних спусках / О.П. Сітовський, В.М. Дембіцький // Збірник наукових праць "Вісник НТУ "ХПІ": Автомобіле- та тракторобудування №30 - Вестник НТУ "ХПИ", 2013. – с. 10 – 15.

23. Дмитриченко М.Ф. Методи системного аналізу властивостей автомобільної техніки: навч. посіб. / М.Ф. Дмитриченко, В.П. Матейчик, О.К. Грищук, М.П. Цюман. – К.: НТУ, 2014. –168 с.

24. Савенок Д.В. Функціональна модель автомобіля підвищеної прохідності / Д.В. Савенок, Д. В. Резніков, В. В. Московенко // Збірник наукових праць Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Електронний науково-практичний журнал. – 2017. – № 2. – С. 24 – 29.

25. Матейчик В.П. Особенности моделирования движения автомобиля повышенной проходимости в эксплуатационных условиях / В.П.Матейчик, Д.В.Савенок // Вестник Восточноукраинского национального университета имени Владимира Даля. - 2007. - № 6 (112). - С. 27-33

26. Бажинов О.В. Конверсія легкового автомобіля в гібридний / О.В. Бажинов, В.Я. Дзадненко, М. Хакім. – Харків: ХНАДУ, 2014. –160 с.

27. Матейчик В.П. Дослідження впливу типу енергоустановки на показники автомобіля підвищеної прохідності в експлуатаційних умовах / В. П. Матейчик, В. В. Яновський, Д. В. Савенок // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. – 2009. – №11(141). – С. 22-25.

28. Платонов В.Ф. Полноприводные автомобили / В.Ф. Платонов. – 2-е изд. – М.: Машиностроение, 1989. – 312 с.

29. Дорожні випробування й оцінка паливної економічності повнопривідних автомобілів на різних типах доріг/ П.П. Ткачук, М.Г. Грубель, Л.В. Крайник [та ін.] // Автошляховик України. – 2007. – № 5. – С. 11-14.

30. Филимонов С.В. Основы управления транспортными средствами и безопасность движения: Учеб. пособие / С.В. Филимонов, С.Г. Талышев, Ю. В. Илясов – Пенза: Изд-во Пенз. гос. Ун-та, 2007. – 98 с.

31. Бершадский В. Основы управления механическими транспортными средствами и безопасность движения / В. Бершадский, Н. Дудко, В. Дудко. - Мн.: Амалфея. – 2010. – 458 с.

32. Проектирование полноприводных колесных машин: В 2 т. / [Б.А. Афанасьев, Б.Н. Белоусов, Л.Ф. Жеглов и др.]; под. ред. А.А. Полуныгина. – М.: МГТУ им. Н. Э. Баумана, 1999. – Т.1 –488 с.

33. Маяк Н.М. Топливная экономичность автомобилей в сложных условиях движения / Н.М. Маяк. – К.: Выща шк. – 1990. – 215 с.

34. Савенок Д. В Розробка критерію екологічної безпеки автомобіля підвищеної прохідності / Д.В. Савенок // Вісник Донецького інституту автомобільного транспорту. – 2008. -№1. – С. 25-29.

35. Шелмаков С. В. Снижение расхода топлива и токсических выбросов путем согласования режимов работы двигателя и агрегатов трансмиссии: Автореф. дис. ... канд. техн. наук: спец. 05.05.03 «Колесные и гусеничные машины» / С. В. Шелмаков. – М.: МАДИ, 1996. – 23 с.

РЕФЕРАТ

Наукова робота: 34 с., 10 рис., 2 табл., 35 джерела

Об'єктом дослідження є робочий процес гібридного автомобіля підвищеної прохідності з різними конструктивними схемами в експлуатаційних умовах

Предметом дослідження є вплив конструктивних параметрів агрегатів та систем гібридного автомобіля підвищеної прохідності на показники тягово-швидкісних властивостей, екологічності та витрати палива з урахуванням прохідності та експлуатаційних факторів.

Мета роботи - поліпшення показників тягово-швидкісних властивостей, екологічності та паливної економічності гібридних автомобілів підвищеної прохідності шляхом раціонального вибору конструктивної схеми з врахуванням експлуатаційних факторів.

Завдання дослідження: Обґрунтувати доцільність використання їздових циклів для визначення показників тягово-швидкісних, паливно-економічних та екологічних властивостей гібридних автомобілів підвищеної прохідності; створити загальну методику вибору конструктивної схеми гібридного автомобіля підвищеної прохідності з урахуванням експлуатаційних факторів; розробити комплекс критеріїв для оцінювання техніко-експлуатаційних властивостей гібридних автомобілів підвищеної прохідності.

В роботі здійснено детальний аналіз літературних джерел з проблеми формування і функціонування конструктивних схем системи «гібридний автомобіль підвищеної прохідності».

**ГІБРИДНИЙ АВТОМОБІЛЬ ПІДВИЩЕНОЇ ПРОХІДНОСТІ,
ГІБРИДНА ЕНЕРГОУСТАНОВКА, ПАЛИВНА ЕКОНОМІЧНІСТЬ,
ВИКИДИ ШКІДЛИВИХ РЕЧОВИН, ТЯГОВО-ШВИДКІСНІ
ВЛАСТИВОСТІ**

