

Шифр «Енергетична установка»

**Вибір параметрів комбінованої енергетичної установки автомобіля із
застосуванням математичного моделювання**

ЗМІСТ

ВСТУП.....	3
1. ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ РОЗРОБОК АВТОМОБІЛІВ З КОМБІНОВАНИМИ ЕНЕРГЕТИЧНИМИ УСТАНОВКАМИ.....	5
1.1. Стан розробок, досліджень і результати випробувань автомобілів з комбінованими енергетичними установками	5
1.2. Аналіз енергетичних показників автомобілів з КЕУ.....	12
2. МОДЕЛЮВАННЯ КОМБІНОВАНОЇ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ УСТАНОВКИ ДЛЯ АВТОМОБІЛЯ	16
2.1. Вибір генератора.....	17
2.2. Визначення параметрів батареї НЕ.	19
2.3. Вибір двигуна внутрішнього згоряння.....	20
2.4. Алгоритм розрахунку автомобіля з КЕУ.	23
2.5. Модель системи управління КЕУ	26
ВИСНОВКИ	28
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	30
АНОТАЦІЯ.....	31

ВСТУП

Роботи по вивченню і створенню комбінованої енергетичної установки (КЕУ) екологічно чистого транспортного засобу, за останні 15 років фактично виділилися в самостійний напрям сучасної електромеханіки, яка характеризується своєю науковою проблематикою, специфікою виконання прикладних досліджень, розширюється областю практичного використання розробок. Підвищений інтерес до цих робіт обумовлений тим, що в зв'язку з різким погіршенням світової екологічної обстановки і скороченням природних ресурсів - джерел палива для автомобілів, все більшої актуальності набуває розробка транспортних засобів, які використовують альтернативні джерела енергії.

В даний час одним з напрямків вирішення проблеми, що склалася є створення транспортних засобів, що мають двигун внутрішнього згоряння, що працює в режимі мінімальних витрат палива і токсичності відпрацьованих газів, що забезпечує достатню динаміку руху. Можливість виходу із ситуації погіршення екології великих міст, застосуванням в якості транспортних засобів електромобілів, є недоцільною, оскільки на даний момент ефективність акумуляторних пристроїв низька, а також нема нових розробок, здатних задовольнити потреби електромобіля. Також необхідно створювати структуру електричних станцій зарядки.

Оптимально реалізований варіант - автомобіль з комбінованою енергетичною установкою. Оскільки такому автомобілю не потрібна зовнішня підзарядка, то він може працювати в існуючій інфраструктурі заправних станцій, що дозволить досягти прийнятних економічних і екологічних показників у порівнянні зі звичайним бензиновим двигуном.

З метою досягнення більшої ефективності та екологічності, необхідне застосування транспортних засобів з комбінованою енергетичною установкою і додатковими більш ємними блоками акумуляторних батарей. Що дозволяє

транспортному засобу долати деяку відстань тільки за рахунок електроенергії запасеної в акумуляторних батареях, заряджених від домашньої мережі.

Проблема математичного моделювання комбінованої енергетичної установки залишається однією з найбільш складних і найменш досліджених в методологічному аспекті. Проектна оптимізація являє собою багато складнощів, так як транспортний засіб з комбінованою енергоустановкою складається з таких компонентів як ДВЗ, оборотної електричної машини, трансмісії, блоку акумуляторних батарей, боки управління, системи гальмування з можливістю рекуперації та ін. Тому пошук і розробку нових підходів до вирішення задач, які складають основу математичного моделювання, слід розглядати як одне з найбільш актуальних напрямків на шляху розробки сучасних автотransпортних засобів.

Метою цієї роботи є розробка науково обґрунтованих рекомендацій щодо вибору параметрів комбінованої енергетичної установки транспортних засобів із застосуванням математичного моделювання.

1. ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ РОЗРОБОК АВТОМОБІЛІВ З КОМБІНОВАНИМИ ЕРГЕТИЧНИМИ УСТАНОВКАМИ

1.1. Стан розробок, досліджень і результати випробувань автомобілів з комбінованими енергетичними установками

Для об'єктивної оцінки техніко-економічних показників автомобілів з комбінованими енергетичними установками слід навести дані, отримані Idaho National Laboratory [62], яка провела випробування 28 автомобілів, в тому числі:

- 6 моделей Honda Insight з серпня 2001р. по березень 2005р .;
- 6 моделей Toyota Prius I з листопада 2001р. по квітень 2005р .;
- 4 моделі Honda Civic I з травня 2002р. по квітень 2005р .;
- 2 моделі Toyota Prius II з листопада 2003р. по теперішній час (н.ч.);
- 2 моделі Chevy Silverado з вересня 2004р. по н.ч.;
- 2 моделі Honda Accord з січня 2005р. по н.ч.;
- 2 моделі Ford Escape з квітня 2005р. по н.ч.;
- 2 моделі Lexus RX 400h з травня 2005р. по н.ч.;
- 2 моделі Toyota Highlander з жовтня 2005р. по т.ч.

Випробування проводилися в умовах дослідної експлуатації, а також в циклі SAE J1634, який складається з наступних послідовно стандартних циклів: UDDS, UDDS, HWFET, 10 хвилинна стоянка, потім знову UDDS, UDDS, HWFET.

Цикл SAE J1634 передбачає два випробування: з включеним повітряним кондиціонером і без його використання. В результаті випробування по циклу SAE J1634 можна визначити: використання палива (питому витрату палива), пробіг, витрату електричної енергії.

Крім того, досліджується поведінка ємності акумуляторної батареї (АБ) в режимах пульсуючих навантажень при роботі в складі комбінованої енергетичної установки і в статичних випробуваннях АБ (постійним струмом).

Також в рамках дослідження були проведені випробування динамічних показників (прискорення і час розгону до певної швидкості), значення максимальної швидкості на ділянках різної протяжності 400 і 1600м. Проведена дослідна експлуатація передбачала загальний пробіг двох автомобілів однієї марки до 250 тис. км. Основні параметри випробуваних автомобілів з КЕУ, наведені в табл. 1.1. Пробіги зазначених моделей наведені на рис. 1.1.

Значення питомих витрат палива в дослідній експлуатації, в циклах SAE J1634 і ЕРА вказані на рис. 1.2, 1.3 і 1.5.

Збільшення витрат палива в циклах SAE J1634 за рахунок застосування кондиціонера вказано на рис. 1.4.

Вплив пір року на питому витрату палива відображено на рис. 1.6.

Зниження ємності акумуляторних батарей за термін випробувань автомобілів (при пробігу 250 тис. км) зображено на рис. 1.7.

Максимальна швидкість автомобілів на кінцевій частині ділянки довжиною 400 м представлена на рис. 1.8.

Час розгону до швидкості 80 км / год і 96 км / год представлено на рис. 1.9.

Експлуатаційні витрати на одиницю пробігу зображені на рис. 1.10, 1.11 і 1.12.

Примітка, в табл. 1.1 цифрами позначено:

1 - в умовах руху SAE J1634. для АТЗ з КЕУ - в перерахунку з питомої витрати палива.

2 - для всіх електромобілів, Insight, Civic'03 і Prius'02 прискорення вказано при розгоні до 80 км / г. Для інших автомобілів при розгоні до 96 км / г.

3 - вартість вказана в цінтах США «\$». Вартість 1 кВтч 10 \$. 1л палива 65 \$.

Таблиця 1.1

Характеристики та експлуатаційні показники автомобілів з КЕУ

Вага, КТ	Тип АБ	Параметри АБ	Пробіг ¹ , км	Прискорення ² , м/с ²	Максимальна швидкість, км/Г	Питомі витрати енергії ¹	Макс потужн
3	4	5	6	7	8	9	
1312	NiMh	201,6 В 6,5 Ач (C/2) 29,4 кг	1005	2,21	167	414 ВтГ/км 316 ВтГ/ткм 4,5 л/100км	ДВС 57 1
1243	NiMh	201,6 В 6,5 Ач (C/2) 29,4 кг	1200	2,55	170	396 ВтГ/км 319 ВтГ/ткм 4,3 л/100км	ДВС 57 кВт Э,
1927	NiMh	288 В 6,5 Ач 42 кг	903	3,05	188	662 ВтГ/км 344 ВтГ/ткм 7,2 л/100км	ДВС 200 кВт Э,
1982	NiMh	288 В 6,5 Ач 42 кг	893	3,03	184	671 ВтГ/км 339 ВтГ/ткм 7,3 л/100км	ДВС 200 кВт Э,
) 1652	NiMh	244,8 В 6,5 Ач 72,6 кг	1247	2,78	190	478 ВтГ/км 290 ВтГ/ткм 5,2 л/100км	ДВС ПО 1
) 892	NiMh	144 В 6 Ач (C/2) 22 кг	944	1,97	152	386 ВтГ/км 433 ВтГ/ткм 4,2 л/100км	ДВС 48 1
	NiMh	144 В 6 Ач (C/2) 22 кг	1030	1,9	150	442 ВтГ/км 356 ВтГ/ткм 4,8 л/100км	ДВС 70 1
) 1589	NiMh	144 В 6 Ач (C/2) 22 кг	784	3,14	200	764 ВтГ/км 481 ВтГ/ткм 8,3 л/ЮОкм	ДВС 180 1
	NiMh	158,4 В 5,5 Ач 22 кг	1105	1,92	162	395 ВтГ/км 303 ВтГ/ткм 4,3 л/100км	ДВС 82 1
2096	PbA	36 В 70 Ач 62,4 кг	782	2,74	160	1159 ВтГ/км 553 ВтГ/ткм 12,6 л/100км	ДВС 220 1
1646	NiMh	330 В 5,5 Ач 50 кг	760	2,31	160	690 ВтГ/км 419 ВтГ/ткм 7,5 л/100км	ДВС 100 1

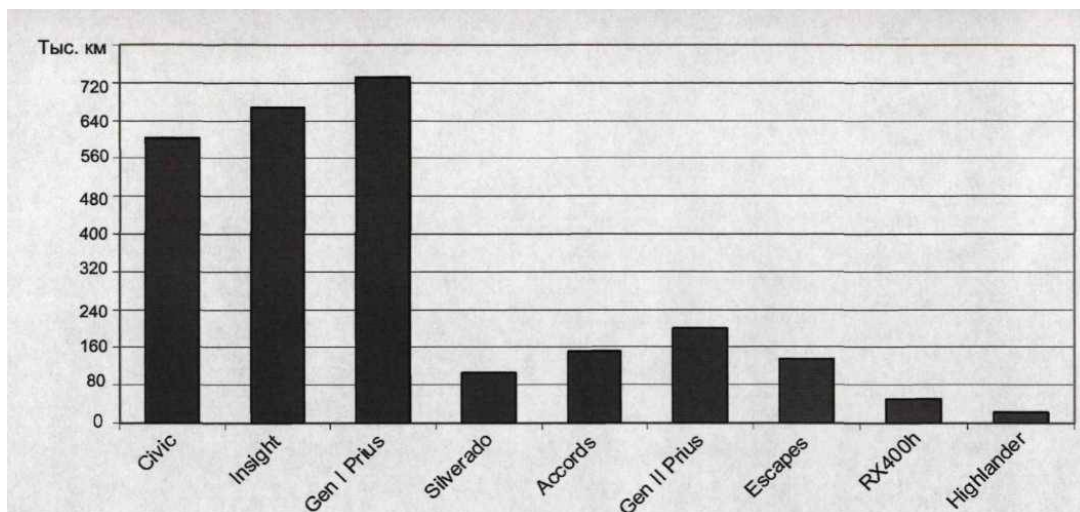


Рис. 1.1. Загальний пробіг автомобілів з КЕУ за випробування

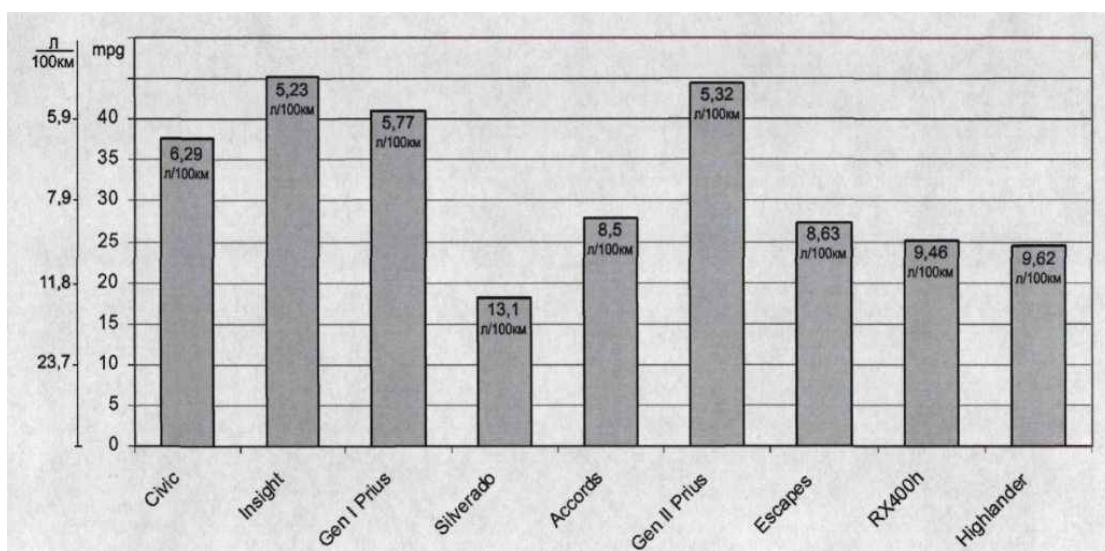


Рис 1.2. Питома витрата палива у дослідній експлуатації

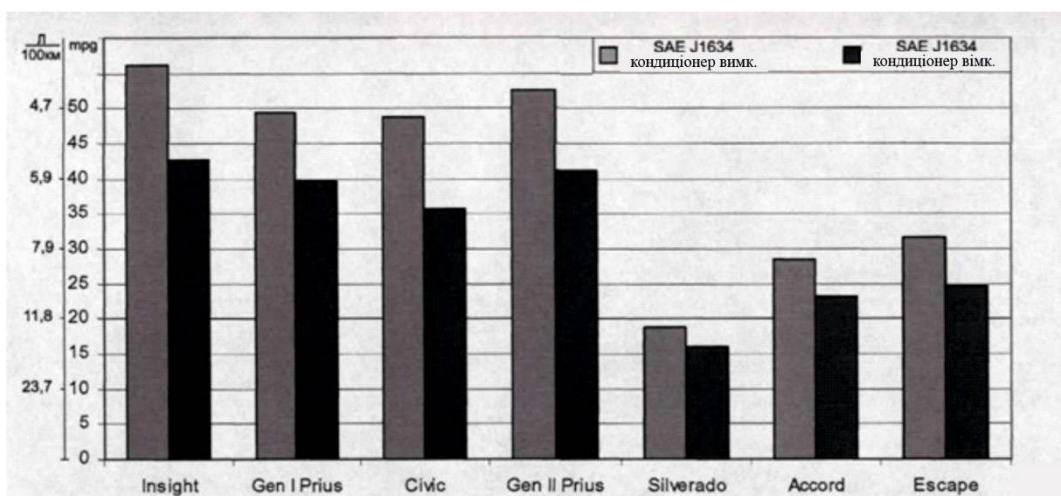


Рис. 1.3. Питомі витрати палива в циклі SAT J1634

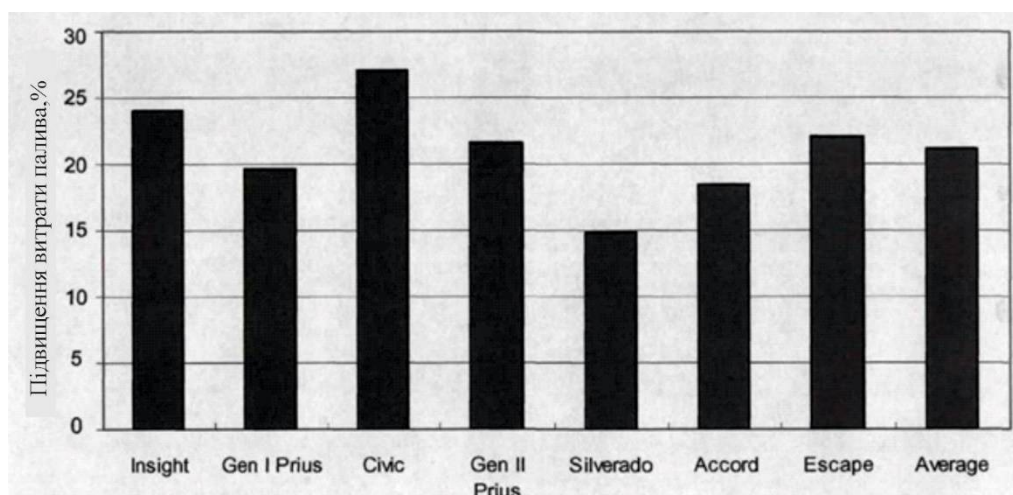


Рис. 1.4. Збільшення витрати палива при використанні кондиціонера

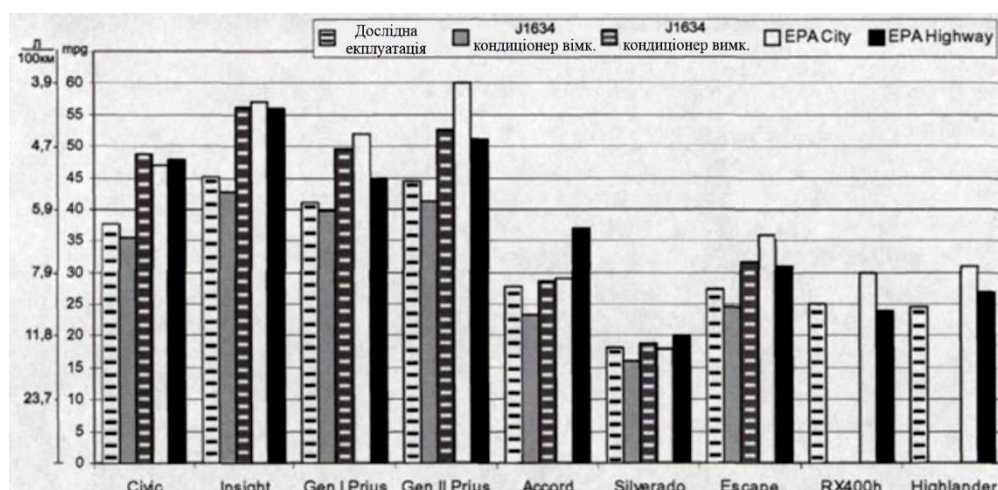


Рис. 1.5. Питомі витрати палива в дослідній експлуатації, в циклах EPA і SAE

J1634

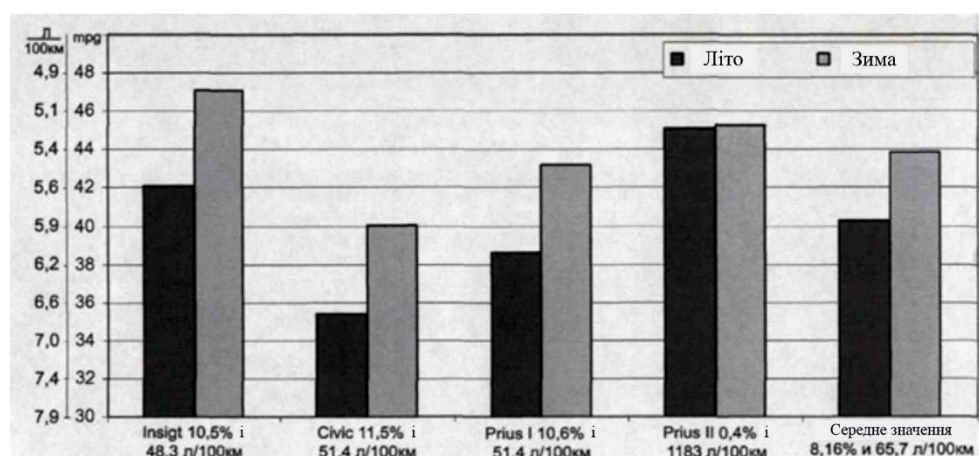


Рис. 1.6. Вплив пори року на питома витрата палива

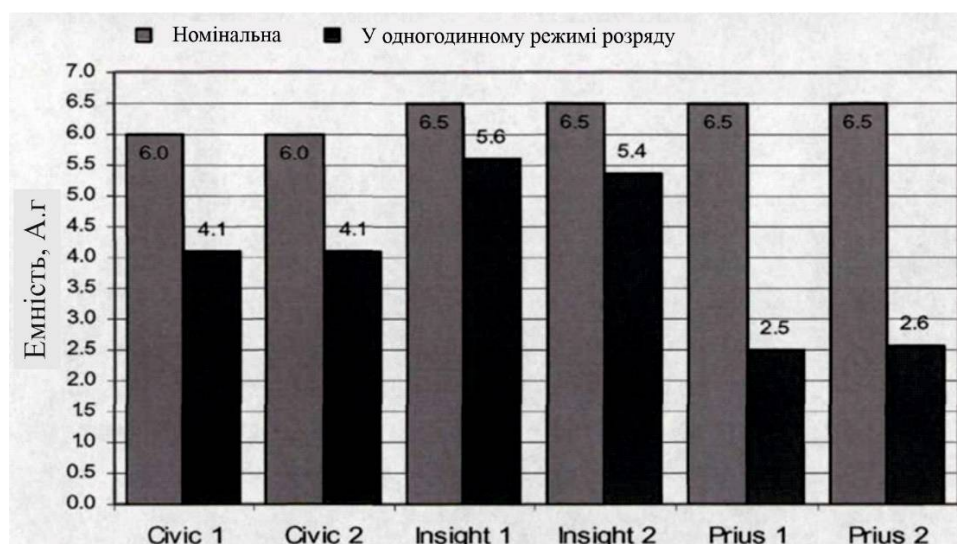


Рис. 1.7. Зниження ємності акумуляторних батарей за термін служби автомобілів з КЕУ (при пробігу 250 тис. км)

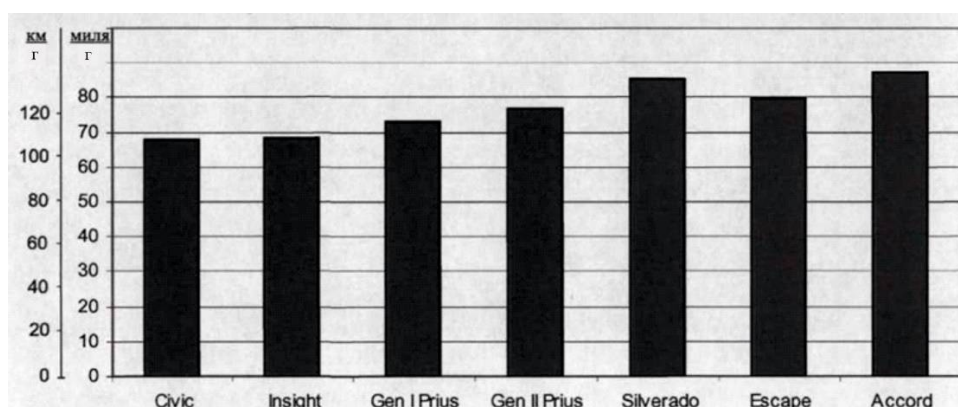
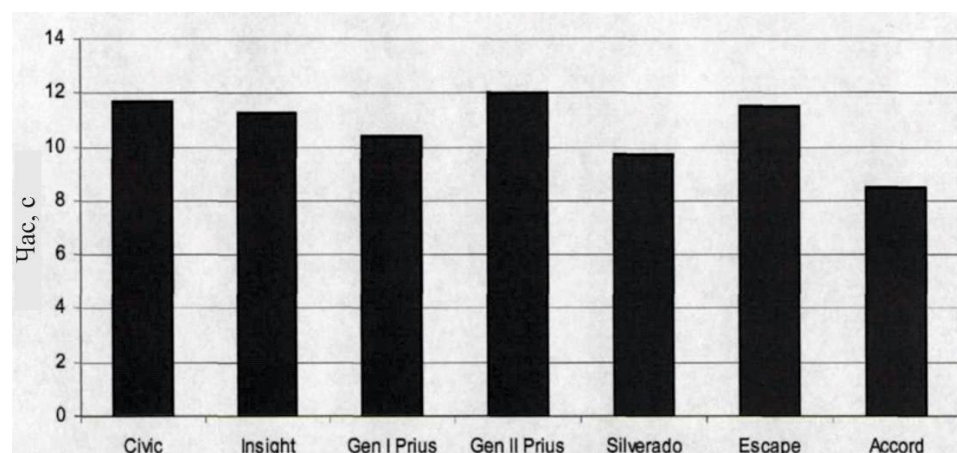


Рис. 1.8. Максимальна швидкість автомобілів з КЕУ на ділянці 400 м



* 0 до 80 км / год для Insight, Civic і Gen I Prius. 0 до 96 км / год для інших

Рис. 1.9. Час розгону автомобілів з КЕУ до 80 - 96 км / год

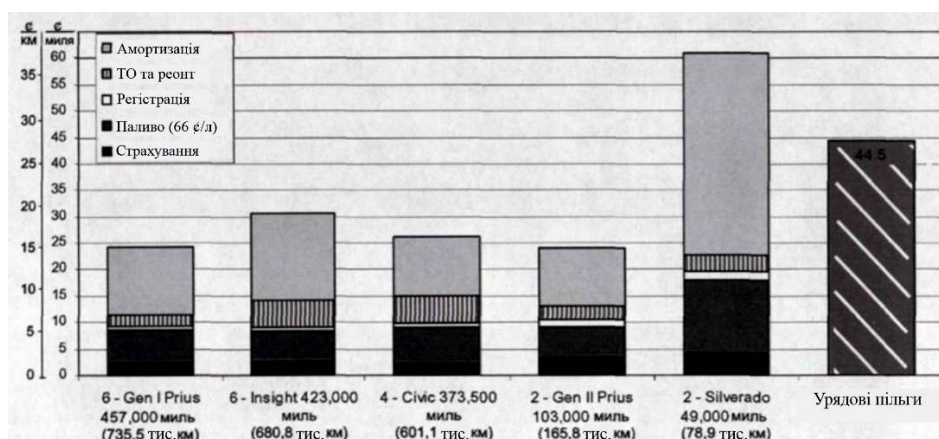
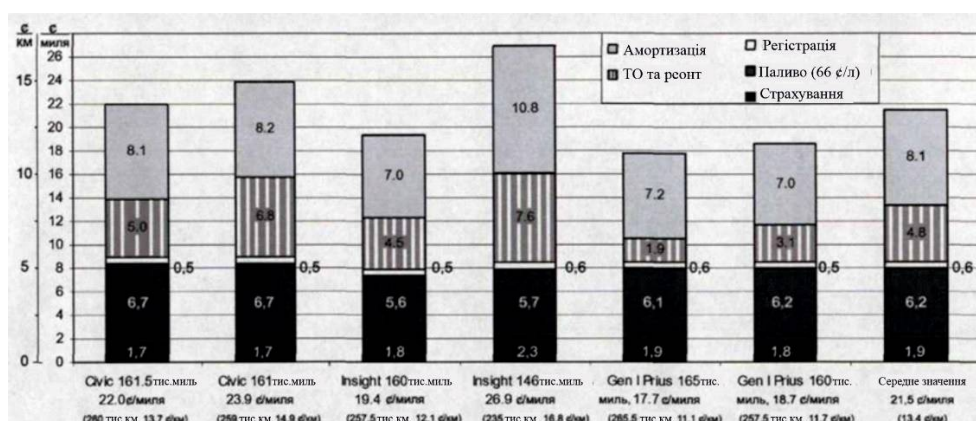


Рис. 1.10. Експлуатаційні витрати на одиницю пробігу



- Для всіх HEV тривалість випробувань 36 міс. Insight (146 тис миль) - 41 міс.

Рис. 1.11. Експлуатаційні витрати на одиницю пробігу ($L > 235$ тис. км)

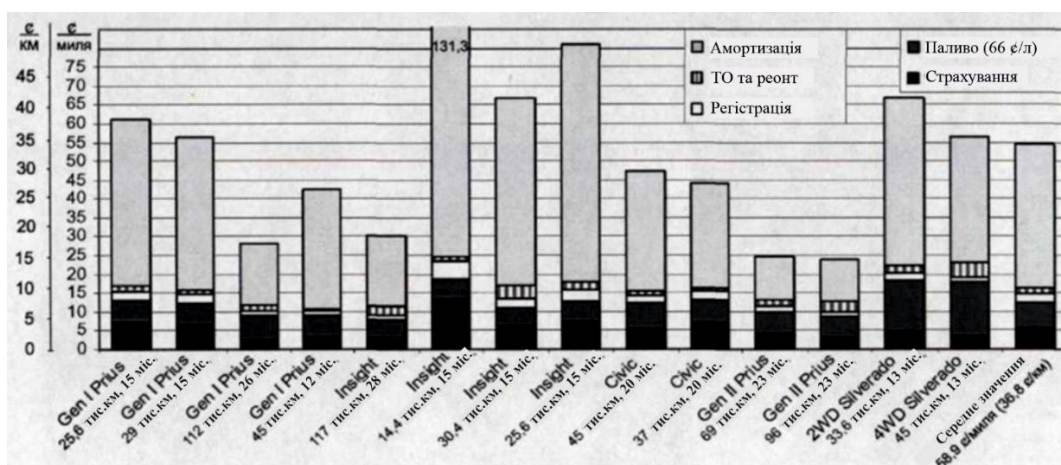


Рис. 1.12. Експлуатаційні витрати на одиницю пробігу ($L < 117$ тис. км)

1.2. Аналіз енергетичних показників автомобілів з КЕУ

Аналіз останніх конструкцій автомобілів з КЕУ призводить до наступних висновків:

1. Найбільш активними і динамічними фірмами, які домоглися значних досягнень в створенні конструкцій що застосовуються на практиці є Toyota і Honda.

2. Обидві фірми застосовують в трансмісії безперервно змінне передавальне число від двигунів до коліс (CVT). Однак конструктивна реалізація цих рішень різна. Toyota використовує в трансмісії планетарний редуктор, Honda - змінні діаметри приводного і веденого шківів в системі CVT.

3. Honda в 2001-2006 рр. створила і запропонувала в комерційну продаж чотири моделі мавтомобілей з КЕУ.

Перше конструктивне рішення (Honda Insight) використовувало електродвигун зчленований через муфту з двигуном внутрішнього згорання (ДВЗ). Це рішення можна класифікувати як об'єднаний стартергенератор (СГУ). Поєднання потужностей ДВЗ та ЕД становило 48/10 кВт. Ni-MH акумулятор мав енергію 864 Вт·год (144 В, 6 А·год. при C/2) і масу 22 кг.

У конструкції 2003 р. Honda Civic Hybrid збільшила потужність ДВЗ до 70 кВт, зберігши параметри електрообладнання (АБ, ЕД).

На наступному етапі робіт (конструкція 2005 р. Accord) істотно збільшена потужність ДВЗ (з 70 кВт до 180 кВт). Ця зміна призвела до значного збільшення прискорення (з 11,7 с при досягненні швидкості 80 км/год до досягнення швидкості 96 км/год). Збільшена також максимальна швидкість (з 150 км/год. до 200 км/год.). Діапазон зміни ємності АБ склав 15,3 А·год з урахуванням підзарядки). Електрообладнання змінилося незначно: потужність ЕД зростає з 10 кВт до 11,9 кВт; параметри АБ не змінилися.

В автомобілі Honda Civic Hybrid конструкції 2006 році фірма збільшила потужність ЕД (15 кВт) та ДВЗ (82 кВт) в порівнянні з моделлю 2003 р.

Параметри АБ дещо змінилися: напруга зросла з 144 В до 158,4 В, а ємність зменшилася з 6 А·год. до 5,5 А·год. Ці зміни привели до деякого збільшення прискорення і максимальної швидкості (162 км/год замість 150 км/год). Слід підкреслити, що перехід до ДВЗ великої потужності і, як наслідок, до збільшення максимальної швидкості і прискорення, призвело до збільшення питомої витрати палива (з 4,2 ... 4,8 л/100 км до 8,3 л/100 км). З аналізу еволюції конструкції автомобіля з КЕУ фірми Honda для міського і приміського режиму руху слід, що автомобіль з КЕУ масою 1300 кг повинен мати для міського руху ДВЗ потужністю 70...80 кВт, що забезпечує питому витрату палива до 4,5 л/100 км при Ni-MH АБ масою близько 30 кг. Конструкцію фірми Honda випуску 2005 р. слід розглядати як варіант для руху на тривалих ділянках шляху з усталеною максимальною швидкістю заміського руху або як проміжну конструкцію для вибору параметрів автомобіля з КЕУ для міського руху.

Наведені результати отримані при випробуванні зразків в циклі SAE J1634. Слід зауважити, що при зазначених випробуваннях за рахунок раціонального регулювання знижений діапазон використання АБ в конструкції 2006 р до 5...7 А·год в порівнянні з 14 ... 15 А·год в конструкції 2005 р. Ця обставина дозволяє істотно знизити масу АБ.

4. Фірма Toyota в 2002 - 2007 р. також запропонувала ряд конструкцій автомобілів з КЕУ: 2002 г. - Toyota Prius; 2004 р Toyota Prius I і II; 2006 р. Toyota Lexus RX 400h; Toyota Highlander та 2007 р. Toyota Canary. Всі зазначені автомобілі також пройшли випробування в циклі SAE J1634.

У першій конструкції (2002 р.) електродвигун мав потужність 33 кВт, ДВЗ 52 кВт. Час розгону до швидкості 80 км/год становило 10,4 с, а максимальна швидкість 156 км/год. Ni-MH АБ мала напруга 274 В, ємність (C/2) 6,5 А·год і масу 39 кг. Витрата палива в циклі SAE J1634 склав 4,8 л/100 км.

Конструкції Prius I і II 2004 р. відрізнялися наявністю одного ЕД 50 кВт (Prius I) і 2-х ЕД 50 кВт і 22 кВт (Prius II). Потужності ДВЗ становили 57 кВт в

обох випадках. Параметри АБ були змінені. Напруга і маса були знижені до 201,6 В і 28 кг відповідно.

Середній час розгону до швидкості 96 км/год становило 12с, а максимальна швидкість 160 км/год. Витрати палива склали 4,5 л/100 км і 4,3 л/100 км. Коливання ампер-годинної ємності у конструкції Prius I склало 14 -22 А·год.

Конструкція автомобіля з КЕУ 2007 р. (Toyota Camry) має ДВЗ потужністю 110 кВт (вдвічі більше ніж в конструкції 2004 року), збільшену енергоємність АБ (244,8 В; 6,5 А·год; 1591,2 Вт·год; 7,25 кг) і потужність ЕД 105 кВт. Діапазон використання ампер-годинної ємності АБ зменшився до 9 ... 12 А·год.

Зазначена конструкція має витрату палива 5,2 л/100 км. Однак час розгону до швидкості 96 км/год склало 9,6 с, а максимальна швидкість 190 км/год.

Таким чином, збільшення параметрів конструкцій фірми Toyota призвело до істотного поліпшення прискорення і максимальної швидкості за рахунок деякого збільшення витрати палива (з 4,5 л/100 км до 5,2 л/100 км, тобто на 15%).

Істотно відрізняються від зазначених вище конструкцій виступають дві моделі повнопривідних автомобілів фірми Toyota (2006 р.). Це Toyota Lexus RX 400h і Toyota Highlander, де все два мости є ведучими (повноприводна конструкція). Передні колеса приводяться від ЕД потужністю 123 кВт і ДВЗ потужністю 200 кВт, а задні від ЕД потужністю 50 кВт. АБ має напругу 288 В і ємність 6,5 А·год (енергія тисяча вісімсот сімдесят дві Вт·год). Енергетичні показники цих моделей не відрізняються. Коливання амперчасової ємності при випробуваннях знаходилися в межах 10 ... 11 А·год.

Розгін цих моделей до швидкості 96 км/год становить 8,75 с, а максимальні швидкості 187 км/год. Трансмисії автомобілів відрізняються. Модель Lexus має CVT передачу, модель Highlander 5-ти ступінчасту

автоматичну коробку передач. Витрати палива знаходяться на рівні 7,2 ... 7,3 л/100 км для обох моделей.

Таким чином, фірма Toyota із застосуванням на автомобілі з КЕУ планетарного редуктора (CVT) одного або двох ЕД і при потужностях ДВЗ 52...57 кВт забезпечують витрати палива на рівні 4,3 ... 4,5 л/100 км. У роботах фірм Honda і Toyota можна виділити два принципові напрями:

- створення автомобілів з КЕУ для міського руху з ДВЗ потужністю 70. ..80 кВт і ЕД 10 ... 15 кВт (Honda), а також з ДВЗ 52. ..57 кВт і ЕД 33 ... 50 кВт (Toyota), із застосуванням АБ масою 22 ... 30 кг, що забезпечують витрата палива 4,5 л/100 км. Середні прискорення для цієї групи автомобілів становили $2,2 \dots 2,5 \text{ м/с}^2$ (при розгоні до швидкості 80 ... 96 км/год), максимальна швидкість 150 ... 170 км/год.

- другий напрямок робіт - це створення автомобілів з КЕУ потужністю ДВЗ 180 ... 200 кВт, з прискореннями більше 3 м/с, максимальною швидкістю, що досягає 200 км/г і витратами палива 8 ... 13 л/100 км.

2. МОДЕЛЮВАННЯ КОМБІНОВАНОЇ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ УСТАНОВКИ ДЛЯ АВТОМОБІЛЯ

У роботі пропонується використовувати автомобіль з КЕУ на базі автомобіля ГАЗ-2705. КЕУ складається з генератора, НЕ, тягового ЕД і ДВЗ використовуваного для приводу генератора.

Вихідними даними для розрахунку комбінованої енергетичної установки є:

- параметри НЕ (напруга, ємність, внутрішній опір маса елемента і всього блоку, кількість елементів);
- параметри генератора і електродвигуна (тип збудження, опір якірною ланцюга і обмотки збудження номінальний струм і напруга, конструктивні дані);
- параметри ДВЗ (характеристика питомої витрати палива);
- параметри базового автомобіля (повна маса, передавальні числа коробки передач і головної передачі, ККД трансмісії момент інерції, радіус кочення коліс);
- параметри випробувального циклу.

Кінцевою метою розрахунку автомобіля з КЕУ було отримання наступних результатів:

- витрата палива і кількість шкідливих викидів;
- витрата енергії НЕ за цикл;
- відновлення енергії НЕ за цикл.

Випробування проводились по циклу SAEj-227C.

2.1. Вибір генератора

Вибір параметрів генератора полягає в тому, щоб підібрати генератор такої потужності, яка покривала енергію, яка витрачається при русі в циклі. Заряд накопичувача енергії (НЕ) починається з вибігу і закінчується стоянкою, заряд триває 42 сек.

Максимальна енергія споживана ЕД в циклі руху SAEj-227C становить 828817,063 Дж або 230,227 Вт·год.

Привід генератора здійснюється від ДВС, який працює при незмінній частоті обертання, отже, для того, щоб потужність генератора лишалася незмінною необхідно, щоб у генератора був постійний момент. Це досягається регулюванням магнітного потоку, змінюючи струм збудження.

Цикл руху складається з окремих етапів і загальний час циклу становить $t = 80$ сек. Відповідно для попереднього визначення потужності генератора необхідно енергію циклу $W_{\text{ц}}$ розділити на час циклу:

$$P_{\text{Г}} = \frac{W_{\text{ц}}}{t_{\text{ц}}} \cdot 3600 = \frac{230,227}{80} \cdot 3600 = 10,4 \text{ кВт.}$$

Як генератор була обрана електрична машина постійного струму ДПС-45. У таблиці 2.1 представлені основні номінальні дані і конструктивні параметри розглянутого ЕД.

Таблиця 2.1.

Основні номінальні дані і конструктивні параметри електродвигуна ДПС-45

Число полюсів головних	6
Число пазів	73
Рід обмотки	хвильова
Виконання обмотки	шаблонірована
Площа паза, мм ²	50,7
Марка дроти ГОСТ або ТУ	ПЕТВП ГОСТ 17708-72
Розмір неізолюваного проводу, мм	1,4 x 5,0

Розмір ізолюваного проводу, мм	1,56x5,2
Коефіцієнт заповнення, %	54
Число ефективних провідників в пазу	2
Число паралельних проводів	2
Число сторін секцій в пазу	2
Число витків в секції	1
Число полюсів додаткових	6
Число паралельних ланцюгів	2-a = 2
Крок по колектору	1-25
Число колекторних пластин	73
Число щіткотримачів	6
Число щіток на щіткотримач	2
Розмір щітки, см	1,0 x 2,5
Марка щітки	ЕГ-74 ГОСТ 2332 - 75
Середня довжина витка, м	0,554
Опір обмотки якоря при 20/115 ° С, Ом	0,01307 / 0,01804
Маса міді якоря, кг	4,9
Режим роботи	51 по ГОСТ 183-84
Розмір неізолюваного проводу, мм обмотка збудження серієсна обмотка додатковий полюс	1,5 3,15 x 8 3,15 x 8
Марка дроти ГОСТ або ТУ обмотка збудження серієсна обмотка додатковий полюс	ПЕТ - 155 ГОСТ 211428-75 ПЕТВП ТУ 16-705.457-87
Діаметр ізолюваного проводу, мм обмотка збудження серієсна обмотка додатковий полюс	1,61 3,38x8,21 3,38 x 8,21
Послідовно витків на полюс обмотка збудження серієсна обмотка додатковий полюс	182 1 7
Струм збудження, А ном / макс обмотка збудження серієсна обмотка додатковий полюс	7,5 / 13 169/400 169/400
Середня довжина витка, м обмотка збудження серієсна обмотка додатковий полюс	0,446 0,489 0,394
Опір однієї котушки, Ом при 20 ° С обмотка збудження серієсна обмотка	0,775 -

Загальний опір обмотки, Ом при 20 ° C / 75 ° C	
обмотка збудження	4,65 / 5,67
серієсна обмотка	0,0020880 / 0,00255
додатковий полюс	0,01178 / 0,01437
Маса міді, кг	
обмотка збудження	7,66
серієсна обмотка	0,82
додатковий полюс	3,87
Напруга, В	
якірного ланцюга	132
збудження ном / макс	43/87
Струм якоря, А	169
Потужність на валу. кВт	20

2.2. Визначення параметрів батареї НЕ.

Верхня межа напруги НЕ прийнята $U_v = 130$ В, тоді кількість елементів визначається за формулою:

$$N = \frac{U_e}{U_1} = \frac{130}{1,3} = 100 \quad (2.1)$$

де U_1 - верхня межа напруги одного елемента батареї «ЕК-401» (U_1 - 1,3 В);

Оскільки загальна енергія циклу склала 828817,063 Дж, енергія НЕ складе:

$$W_H = W_{\text{ц}} - W_{\Gamma} = 828817,063 - 395200 = 433617 \text{ Дж}, \quad (2.2)$$

де W_{Γ} - енергія генератора за час розгону:

$$W_{\Gamma} = P_{\Gamma} \cdot t = 10400 \cdot 38 = 395200 \text{ Дж}; \quad (2.3)$$

де t - час розгону ($t = 38$ сек);

Визначимо необхідну ємність від НЕ, під час руху в циклі, за формулою:

$$W_{HE} = \frac{C \cdot (U_H^2 - U_K^2)}{2} \quad (2.4)$$

$$C = \frac{2 \cdot W_{HE}}{(U_H^2 - U_K^2)} = \frac{2 \cdot 433617}{(130^2 - 80^2)} = 82,5 \text{ Ф}$$

Накопичувач енергії, встановлений на борту, зібраний з 100 послідовно з'єднаних елементів типу ЕК 401.

Маса батареї НЕ склала:

$$m_{\delta} = N_E \cdot m_E = 100 \cdot 1,4 = 140 \text{ кг},$$

де N_E - кількість елементів ЕК 401, шт. ;

m_E - маса одного елемента ЕК 401, кг ($m_E = 1,4$).

Ємність батареї НЕ склала:

$$C_{\delta} = \frac{C_E}{N_E} = \frac{10000}{100} = 100 \text{ Ф},$$

де C_E - ємність одного елемента ЕК 401, Ф. ($C_E = 10000$)

N_E - кількість елементів ЕК 401, шт.

Опір батареї НЕ склав:

$$R_{\delta} = N_E \cdot R_E = 100 \cdot 0,0002 = 0,02 \text{ Ом},$$

де R_E - опір одного елемента ЕК 401, Ом. ($R_E = 0,0002$)

N_E - кількість елементів ЕК 401, шт.

2.3. Вибір двигуна внутрішнього згоряння

При розробці автомобіля з КЕУ такі завдання, як зниження токсичності і витрати палива є пріоритетними. Тому вибір ДВЗ є одним з найважливіших етапів в проектуванні автомобіля з КЕУ. У КЕУ пропонується використовувати двигун ВАЗ-1111. У КЕУ ДВЗ використовується, для приводу генератора, що

працює в одному режимі з постійними оборотами і з постійним моментом. Вище розглянутий двигун не є однорежимним. Тому необхідно обмежити частоту обертання колінчастого вала ДВЗ до такого значення, при якому потужність ДВЗ відповідала б потужності генератора.

За даними сертифікаційних випробувань частота обертання $n = 3000 \text{ хв}^{-1}$ є оптимальною для формування необхідної потужності генератора. При цій частоті обертання потужність, що виробляється ДВЗ дорівнює 11,4 кВт.

Необхідно визначити потужність ДВЗ з урахуванням ККД генератора, який приймається рівним 0,87:

$$P_d = \frac{10,4}{0,87} = 11,95 \text{ кВт}.$$

Витрата палива ДВЗ при частоті обертання $n = 3000 \text{ хв}^{-1}$ і вироблюваної потужності $P = 11,4 \text{ кВт}$ і моменті $M = 36,3 \text{ Нм}$ за даними сертифікаційних випробувань становить $g = 3,4 \text{ кг / год}$.

У КЕУ ДВЗ буде завантажений по потужності на 11,9 кВт, витрата палива перерахована з потужності 11,4 на потужність 11,9 кВт, методом лінійної інтерполяції з результатами випробувань двигуна при частоті обертання $n = 3000 \text{ хв}^{-1}$, $M = 41,6 \text{ Нм}$, $P = 13,1 \text{ кВт}$ і витратою палива $g = 4 \text{ кг / год}$.

Визначимо зміну потужності:

$$\Delta P = 13,1 - 11,9 = 1,2 \text{ кВт}$$

Визначимо витрата палива при зміні потужності:

$$\Delta g = g_1 - g_2 = 4 - 3,4 = 0,6 \text{ кг / з};$$

Визначимо витрата палива на кВт:

$$G_1 = \frac{\Delta g}{\Delta P} = \frac{0,6}{0,7} = 0,353 \frac{\text{кг}}{\text{кВт} \cdot \text{год}}$$

Визначимо зміну потужності ДВЗ з урахуванням ККД генератора:

$$\Delta P = P_2 - P_1 = 11,9 - 11,4 = 0,55 \text{ кВт}.$$

Визначимо витрата палива при зміні потужності на 0,36 кВт:

$$G_2 = \Delta P \cdot G_1 = 0,55 \cdot 0,353 = 0,194 \text{ кг}.$$

Визначимо витрата палива при завантаженості ДВЗ по потужності на 11,9 кВт:

$$\Delta g_2 = 3,4 + 0,194 = 3,594 \text{ кг/год}.$$

Відповідно при переході на потужність $P = 11,95$ кВт витрата палива складе: $G_t = 3,594$ кг/год.

Необхідно визначити витрату палива ДВЗ, при якому потужність що їм виробляється забезпечує сталість потужності генератора $P = 11,9$ кВт.

$$G_t = g/P_t = 3594/11,95 = 300,75 \text{ г/кВт} \cdot \text{год}$$

Розраховується витрата палива ДВЗ за цикл:

$$G_{\text{ц}} = G_t \cdot W_S = 300,75 \cdot 427 = 12,84 \text{ кг/100 км},$$

де W_S - витрата енергії ЕМ за пройдену відстань в циклі, кВтг/км, визначене за формулою:

$$W_S = W_{\text{ц}}/S = 230.227/0.539 = 427 \text{ Втг/км}$$

де $W_{\text{ц}}$ - енергія за цикл, Втг ($W = 224,78$ Втг);

S - пройдений шлях за цикл, км ($S = 0,539$ км).

Викиди шкідливих речовин ДВЗ ВАЗ -1111 при частоті обертання $n = 3000 \text{ хв}^{-1}$ і потужності $P = 11,4$ кВт згідно сертифікаційних випробувань представлені в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2

	Викид окисів вуглецю, г/кВтг	Викид вуглеводнів, г/кВтг	Викид окисів азоту, г/кВтг
Межа допустимі правилами №49 СЕК ООН	4,5	1,1	8,0
Результатвипробувань	2,96	0,63	0,92

2.4. Алгоритм розрахунку автомобіля з КЕУ.

Виходячи з того, що випробувальний цикл складається з окремих етапів, розрахунок побудований з блоків, що відповідають кожному етапу. До складу автомобіля з КЕУ входить двигун постійного струму ДПС-45, дані якого представлені в таблиці 2.1. Як генератор постійного струму, також обрана електрична машина ДПС-45.

Управління рухом автомобіля з КЕУ в циклі полягає в формуванні розрахунковим шляхом на валу двигуна такого моменту, який при певному моменті опору руху забезпечував би наростання швидкості із заданим прискоренням, і дозволяв підтримувати постійну швидкість. Момент є функцією струму якоря і магнітного потоку $M = f(I_a, \Phi)$. Змінюючи струм і магнітний потік в часі, система регулювання повинна реалізувати необхідний і оптимальний електромагнітний момент двигуна.

Генератор, електродвигун і накопичувач енергії включені в електричну схему, представлену на рис. 2.1.

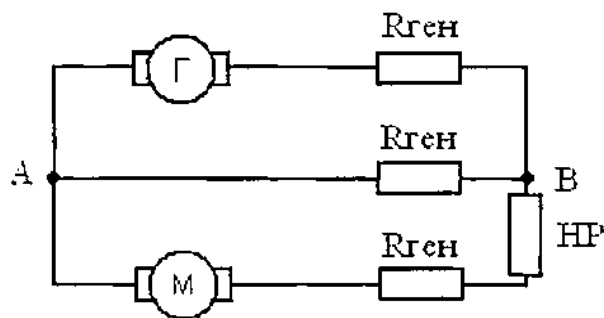


Рис. 2.1. Електрична схема КЕУ.

На рис. 2.1 видно, що струм двигуна до перетворювача, який в розрахунках позначений як I_3 , залежить від суми струмів генератора і НЕ. На ділянці розгону регулювання починається з наростання напруги на входах двигуна до тих пір, поки ця напруга не зрівняється з напругою в точках «АВ», тобто поки шпаруватість імпульсів не досягне 1. На цьому проміжку також в першу секунду часу здійснюється заряд НЕ, тому що тяговий двигун споживає потужність меншу, ніж віддає генератор. Виходячи з цього, на першій секунді баланс струмів виглядає так:

$$I_{ГЕН} = I_{НЕ} + I_3 \quad (2.5)$$

У міру заряду НЕ його напруга збільшується. Баланс струмів виглядає так:

$$I_{ГЕН} + I_{НЕ} = I_3 \quad (2.6)$$

Регулювання струму двигуна здійснюється і реалізується натисканням на педаль управління. Струм I_3 до перетворювача наростає до тих пір, поки шпаруватість імпульсів не досягне 1. Коли шпаруватість досягне 1, струм I_3 стає рівним 250 А. Система управління утримує максимальний струм $I_{\max} = 250$ А. Це пояснюється тим, що при великих токах, обертуочий момент ЕД може визвати пошкодження механічних вузлів (наприклад, трансмісії).

Коли шпаруватість менше 1 ток обчислюється за формулою:

$$I_3 = \gamma \cdot I_A \quad (2.7)$$

Розраховується ЕРС двигуна за формулою:

$$E = C_e \cdot \Phi \cdot n, \quad (2.8)$$

де C_e - конструктивна стала, $C = 7,2$;

Φ - магнітний потік, Вб;

n - частота обертання, об / мин.

З ростом частоти обертання двигуна ЕРС збільшується, що призводить до зростання напруги на виходах ЕД, яка визначається за формулою:

$$U_D = E + I_A \cdot R_D + \Delta U_{щ}, \quad (2.9)$$

де R_D - опір обмотки якоря, додаткових полюсів і стабілізуючої обмотки, Ом;

$\Delta U_{щ}$ - падіння напруги в щітково-колекторному вузлі, приймається рівним 2 В.

Наростання напруги призводить до того, що шпаруватість також наростає. Отже, струм I_3 повинен стати більше, тобто збільшиться навантаження в ланцюзі генератор - накопичувач енергії і відбудеться перерозподіл струмів $I_{ген}$ і $I_{не}$. Поки відбувалося наростання струму двигуна, НЕ розрядився на деяку величину під дією струму розряду $I_{не}$. Напруга НЕ зменшилася і відповідно зменшилася напруга в точках АВ. Зменшення напруги $U_{ав}$ призводить до зниження напруги на генераторі. Зниження U_r обмежена потужністю, що віддається генератором. Тому для початку визначається новий ток генератора I_r . Потім визначається струм накопичувача $I_{не}$ для нового значення струму двигуна. Поки γ менше одиниці ток накопичувача енергії та ток генератора будуть збільшуватися. Коли γ стане рівною 1, ток НЕ буде збільшуватися, а струм генератора зменшуватися:

$$I_{не} + I_2 = 250 \text{ A.}$$

Після того, як γ стане рівною 1, регулювання швидкості виробляємо за рахунок ослаблення магнітного поля в ланцюзі обмотки збудження, тобто зменшуючи струм збудження - зменшуємо магнітний потік. Таким способом ми розганяємо автомобіль з КЕУ до певної швидкості, починаючи з якої, рухаючись по природній характеристиці, може досягти швидкості $V = 48$ км/год до кінця $t = 38$ сек. або раніше цього часу.

На підставі вищевикладеного можна скласти алгоритм розрахунку:

- > Задаємося умовою, що НЕ на початку циклу повністю заряджений.
- > Розраховуємо попередні значення струмів, напруг на генераторі, накопичувачі енергії і в точках АВ.
- > Коригуємо отримані значення струмів і напруг для $\gamma < 1$.
- > Знаходимо величину зміни частоти обертання валу двигуна і швидкості.
- > Визначаємо нове значення ЕРС двигуна і нове значення γ .
- > Коли шпаруватість стає рівною 1, напруга $U_{\text{ц}}$ прирівнюється до напруги в точках АВ. Далі визначається, як повинен зменшитися магнітний потік, щоб зберегти рівність $U_{\text{д}} = U_{\text{ав}}$ при збільшенні частоти обертання двигуна.
- > При досягненні швидкості яка близька $V = 48$ км/год, двигун переходить в режим руху по природній характеристиці. Цей режим здійснюється, поки час руху не стане рівним $t = 38$ сек.
- > Вибіг, гальмування і стоянка розраховується при відключеному ЕД. Генератор при цьому заряджає НЕ. Напруга НЕ наростає, напруга на генераторі теж наростає, відстежуючи $U_{\text{не}}$.
- > У висновку, розраховується витрата палива і кількість шкідливих викидів ДВЗ.

2.5. Модель системи управління КЕУ

Визначимо завдання і дії системи управління. На рис 3.1 цей елемент є перетворювачем струму. Перед системою управління стоять такі завдання:

- > Підтримка сталості струму якоря.
- > Регулювання напруги на якорі.

На початку пуску двигун не обертається, тому його ЕРС дорівнює 0. Напруга що подається в цей час на якорі двигуна розраховується за формулою (3.9):

$$U_d = 250 \cdot 0,02694 + 2 = 8,73 \text{ В.}$$

Після визначення напруги на двигуні, визначається γ за формулою:

$$\gamma = \frac{U_d}{U_{AB}} \quad (3.10)$$

У двигуні під дією U_d протікає струм I_d , який визначається зі співвідношення:

$$I_d = \gamma \cdot I_A. \quad (3.11)$$

Струм I_d - це струм навантаження для схеми генератор - накопичувач енергії. Відповідно, в цій схемі з'являється струм генератора, який ділиться на заряд НЕ і на ток двигуна. Далі відбувається зміна напруг генератора і НЕ, також змінюється U_d . Це призводить до збільшення γ і, відповідно струму I_d .

ВИСНОВКИ

Роботи по вивченню і створенню комбінованих енергетичних установок за останні 15 років виділилися в самостійний напрям сучасної енергетики. Підвищений інтерес до цього пов'язаний з різким погіршенням світової екологічної обстановки і скороченням природних ресурсів. Справжня робота присвячена вирішенню проблем створення транспортних засобів з комбінованою енергетичною установкою.

Сукупність теоретичних досліджень, нових методів і алгоритмів, можливо, розглядати як новий напрямок в області теорії і проектування комбінованих енергетичних установок.

1. Розроблено алгоритм математичного розрахунку комбінованої енергетичної установки в складі транспортного засобу. Завдяки якому проводиться вибір параметрів генератора, тягових акумуляторних батарей, накопичувача енергії, двигуна внутрішнього згоряння.

2. Розроблено математичну модель комбінованої енергетичної установки в складі транспортного засобу.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Бахмутов С. В., Богомолов С. В., Висіч Р. Б. Параметрическа оптимізація перспективного легкового автомобіля. - М.: МГТУ МАМІ, 1999..
2. Богачев Ю. П., Ізосімов Д.В. Електропривод нетрадиційних транспортних засобів. Привідна техніка №2, 1998 р
3. Венцель Е.С. Теорія імовірності. -М.: «Вища школа», 1998. 572с.
4. Голубчик Т.В. Енергетична ефективність електромобілів і гібридних автомобілів Є.І. Сурін, Т.В. Голубчик // Електроніка та електрообладнання транспорту. - М.: 2006, № - 6.
5. Голубчик Т.В. Акумуляторні батареї що застосовуються на електромобілях і автомобілях з комбінованими енергетичними установками В.І. Марсів, Т.В. Голубчик, М.В. Ютт // зб. науч. тр. МАДИ (ГТУ). - М.: 2007.
6. Голубчик Т.В. Аналіз ефективності і енергоресурсу електромобілів і автомобілів з комбінованою енергетичною установкою /В.Є. Ютт, Т.В. Голубчик, К.М. Сидоров // Матеріали 46-го міжнародного симпозіуму «Електроніка та електрообладнання транспорту. Проблеми та шляхи вирішення», м Суздаль, червень 2008.
7. Голубчик Т.В. Методи моделювання акумуляторних батарей /Т.В.Голубчик // Принципи побудови і особливості використання мехатронних систем: зб. науч. тр. МАДИ (ГТУ). -М.: 2009.
8. Голубчик Т.В. Випробування автомобілів з комбінованою енергетичною установкою / Т.В Голубчик., М.В. Ютт, К.М. Сидоров // Принципи побудови і особливості використання мехатронних систем: зб. науч. тр. МАДИ (ГТУ). -М.: 2009.
9. Ізосімов Д.Б., Кулаков Є.Б., Литвиненко С.В., Сагаловскій В.І., Ейдінов А.А. Шляхи створення електромобілів. Москва, 1997 р
10. Іпатов А.А., Ейдінов А.А. Електромобілі та автомобілі до КЕУ М.: НАМІ, 2004.- 328с.

АНОТАЦІЯ

Роботи по вивченню і створенню комбінованої енергетичної установки (КЕУ) екологічно чистого транспортного засобу, за останні 15 років фактично виділилися в самостійний напрям сучасної електромеханіки, яка характеризується своєю науковою проблематикою, специфікою виконання прикладних досліджень, розширюється областю практичного використання розробок. Підвищений інтерес до цих робіт обумовлений тим, що в зв'язку з різким погіршенням світової екологічної обстановки і скороченням природних ресурсів - джерел палива для автомобілів, все більшої актуальності набуває розробка транспортних засобів, які використовують альтернативні джерела енергії.

В даний час одним з напрямків вирішення проблеми, що склалася є створення транспортних засобів, що мають двигун внутрішнього згоряння, що працює в режимі мінімальних витрат палива і токсичності відпрацьованих газів, що забезпечує достатню динаміку руху. Можливість виходу із ситуації погіршення екології великих міст, застосуванням в якості транспортних засобів електромобілів, є недоцільною, оскільки на даний момент ефективність акумуляторних пристроїв низька, а також нема нових розробок, здатних задовольнити потреби електромобіля. Також необхідно створювати структуру електричних станцій зарядки.

Оптимально реалізований варіант - автомобіль з комбінованою енергетичною установкою. Оскільки такому автомобілю не потрібна зовнішня підзарядка, то він може працювати в існуючій інфраструктурі заправних станцій, що дозволить досягти прийнятних економічних і екологічних показників у порівнянні зі звичайним бензиновим двигуном.

З метою досягнення більшої ефективності та екологічності, необхідне застосування транспортних засобів з комбінованою енергетичною установкою і додатковими більш ємними блоками акумуляторних батарей. Що дозволяє

транспортному засобу долати деяку відстань тільки за рахунок електроенергії запасеної в акумуляторних батареях, заряджених від домашньої мережі.

Проблема математичного моделювання комбінованої енергетичної установки залишається однією з найбільш складних і найменш досліджених в методологічному аспекті. Проектна оптимізація являє собою багато складнощів, так як транспортний засіб з комбінованою енергоустановкою складається з таких компонентів як ДВС, оборотної електричної машини, трансмісії, блоку акумуляторних батарей, боки управління, системи гальмування з можливістю рекуперації та ін. Тому пошук і розробку нових підходів до вирішення задач, які складають основу математичного моделювання, слід розглядати як одне з найбільш актуальних напрямків на шляху розробки сучасних автотранспортних засобів.

Метою цієї роботи є розробка науково обґрунтованих рекомендацій щодо вибору параметрів комбінованої енергетичної установки транспортних засобів із застосуванням математичного моделювання.

У відповідності до поставленої мети вирішені в роботі завдання формуються наступним чином:

- проведення аналізу сучасного стану та перспектив розвитку комбінованих енергетичних установок транспортних засобів;
- розробка алгоритму математичного розрахунку КЕУ;
- розробка узагальненої математичної моделі КЕУ транспортного засобу;
- створення методів визначення основних параметрів КЕУ з використанням математичного моделювання.

Теоретичні та розрахунково - аналітичні дослідження базувалися на фундаментальних положеннях проектування технічних систем, теорії автоматичного управління, теорії систем та інших областях науки. В якості теоретичної бази для проведення досліджень використовувалися фундаментальні і прикладні праці провідних вітчизняних і зарубіжних вчених. Експериментальні дослідження спиралися на методи моделювання та обробку результатів на ЕОМ.

Наукова робота студента містить пояснювальну записку яка містить вступ, два основні розділи та висновки. Пояснювальна записка містить 29 аркушів, 3 таблиці, 12 рисунків, 10 використаних джерел.