

УДК 629.3+504

*А. О. СМІРНОВА*, асп. ХНАДУ, Харків**МЕТОДИКА ОЦІНКИ ПАЛИВНОЇ ЕКОНОМІЧНОСТІ ГІБРИДНИХ АВТОМОБІЛІВ**

В роботі пропонується методика оцінки паливної економічності гібридних автомобілів для різних країнах світу. Виконано порівняльний аналіз паливної економічності гібридних автомобілів Chevrolet Volt та Toyota Prius PHEV. Сформовані висновки що до доцільності використання гібридних автомобілів в залежності від щоденного пробігу.

**Ключові слова:** гібридний автомобіль, паливна економічність, електрична енергія, пробіг на електротязі, витрата палива, акумуляторна батарея.

**Вступ.** Паливна економічність та екологічна безпека автомобілів є дуже важливою проблемою. Тому провідні виробники автотранспортних засобів конструюють та поставляють на ринок автомобілі, що мають невеликі витрати палива: гібридні автомобілі та електромобілі. А якщо брати до уваги той факт, що витрата палива у різних режимах руху є визначальним показником при покупці сучасного автомобіля, то оцінка його паливної економічності стає актуальною задачею.

**Аналіз основних досягнень і літератури.** Протягом багатьох років автомобільний інтернет-ресурс Kelley Blue Book, що спеціалізується на консультаціях по підборі автомобілів, проводить тести та складає рейтинг найбільш економічних та екологічних автомобілів, надаючи покупцям данні про тенденції ринку. Тести на економічність розраховуються у США на 100 миль (160,9 км) пробігу, при цьому на електричній тязі гібридні автомобілі зможуть подолати різну відстань [1].

Відстань, яку гібридні автомобілі долають на електроприводі, обмежується енергоємністю тягових акумуляторних батарей (ТАБ). Коли заряд ТАБ закінчується, то автоматично підключаються ДВЗ, що починає додавати необхідну енергію для руху та заряду ТАБ. В ХНАДУ проводяться дослідження з розробки та експлуатації гібридних автомобілів, а також з визначення їх паливної економічності. Матеріали даного дослідження є логічним продовженням робіт, які проводяться на кафедрі автомобільної електроніки університету [2,3]

**Мета дослідження, постановка задачі.** Метою роботи є підвищення ефективності використання гібридних автомобілів за рахунок розроблення методики оцінки їх паливної економічності в залежності від пробігу. Для рішення даної проблеми необхідно розробити методологічні основи оцінки паливної економічності гібридних автомобілів. Для визначення еквівалентного розходу палива автомобілів з електроприводом необхідно провести перерахунок витрат електроенергії ТАБ у еквівалентну витрату палива.

**Матеріали досліджень.** Для досягнення поставленої мети було розглянуто два гібридних автомобіля Toyota Prius і Chevrolet Volt. Для більш повного аналізу різниці між цими автомобілями розглянемо їх окремо. Toyota Prius серійне випускається з 1997 р. По всьому світу реалізовано більш 4 млн. різних модифікацій автомобіля Toyota Prius. Гібридна силова установка заснована на основі ексклюзивної технології Hybrid Synergy Drive. Автомобіль обладнаний бензиновим та двома електричними машинами (генератор та двигун), що отримує живлення від ТАБ високої ємності та високої напруги. ДВЗ та електричний двигун можуть працювати як порізно, так і разом (послідовно-паралельна гібридна система). Тяговий електричний двигун здатний також

© А. О. Смирнова, 2013

працювати як генератор, перетворюючи кінетичну енергію гальмування автомобіля в електричну енергію для заряду високовольтної акумуляторної батареї. Основні характеристики гібридного автомобіля останньої модифікації Toyota Prius Plug-in Hybrid (Prius PHV) приведені в табл. 1.

Таблиця 1 – Основні характеристики гібридного автомобіля Prius PHV

Основні характеристики		Prius PHV
Початок продажів, рік		2012
Батарея	Ємність, А·год	21,5
	Напруга, В	207,2
	Енергоємність, кВт·год.	4,4
Потужність електродвигуна, кВт		60
Бензиновий двигун	Потужність, кВт (к.с.)	73(98)
	Макс. оберти, об./хв.	5200
	Об'єм, л	1,8
Розгін от 0 до 100 км/год., с		10,4
Викид CO <sub>2</sub> , г/км		49
Середня витрата палива, л		2,2

Автомобіль Chevrolet Volt виготовляється компанією General Motors та представляє собою передньопривідний легковий чотиримісний електромобіль із збільшеним запасом ходу (E-REV) за рахунок чого він презентується як електромобіль. Гібридний автомобіль Chevrolet Volt, відрізняється від Toyota Prius тим, що завжди працює в режимі електротяги (послідовна гібридна система). При поїздках на невеликі відстані гібридний автомобіль Chevrolet Volt використовує електроенергію, накопичену в акумуляторній батареї. Під час тривалих подорожей додаткова електроенергія виробляється двигуном внутрішнього згорання. Параметри ТАБ і електричного приводу підібрані таким чином, що при достатньому рівні заряду ТАБ, робота двигуна внутрішнього згорання не потрібна. Працюють тільки електричні компоненти, а саме ТАБ, електричний привід і електронна система управління. Основні характеристики гібридного автомобіля Chevrolet Volt наведені в табл. 2.

Таблиця 2 - Основні характеристики гібридного автомобіля Chevrolet Volt

Основні характеристики		Chevrolet Volt
Початок продажів		2010
Батарея	Ємність, А·год (кВт)	44 (16)
	Напруга, В	360
	Енергоємність, кВт·год.	16
Потужність електродвигуна, кВт		111
Бензиновий двигун	Потужність, кВт (к.с.)	63,2(86)
	Макс. оберти, об./хв.	4800
	Об'єм, л	1,4
Розгін від 0 до 100 км/год., с		9,0
Споряджена маса, кг		1750
Викид CO <sub>2</sub> , г/км		60
Середня витрата палива, л		5

Офіційні тести для визначення витрати палива автомобілів з двигуном внутрішнього згорання проводяться з 1970 р. і в різних країнах світу ці тести проходять по різним нормативам. У Європі, наприклад, діє європейський їздовий цикл (NEDC), в США – стандарт FTP 75, в Японії - JC08B. Вони відрізняються програмами випробувань, режимами роботи двигуна, а також застосовуваної вимірювальною апаратурою та методиками відбору

Реальна витрата палива не завжди збігається з даними, що отримані від випробувальних тестів. Тому технічні характеристики автомобілів відрізняються від витрати палива в реальних умовах їх експлуатації. Ще складніше ситуація складається з оцінкою витрати палива автомобілів, що приводяться до руху електричним приводом. У зв'язку з цим, актуальним є порівняння паливної економічності гібридних автомобілів, що використовують електричні силові установки, у різних країнах світу.

Для нашого аналізу було обрано п'ять країн це Україна, США, Росія, Німеччина, Нідерланди. Розробку методики оцінки паливної економічності гібридних автомобілів почнемо з проведення порівняльного аналізу між вартістю енергоносіїв при експлуатації вибраних автомобілів Toyota Prius PHV і Chevrolet Volt у порівняльних країнах. А для цього визначимось з загальнонаціональними цінами на електричну енергію і паливо в цих країнах.

Ціна на бензин на заправці приблизно на три чверті залежить від цін на нафту на світовому ринку і змінюється в залежності від коливань цих світових цін. У деяких країнах важливим фактором, що впливає на ціну бензину, є податки, наприклад, на Україні. Багато що також залежить від того, чи є у країни власні нафтові ресурси, як у Росії, або їй доводиться імпортувати нафту для переробки.

На рис. 1 наведені офіційні данні статистики щодо середньої вартості палива на кінець березня 2013 року в Україні, США, Росії, Німеччині, Нідерландах [4].

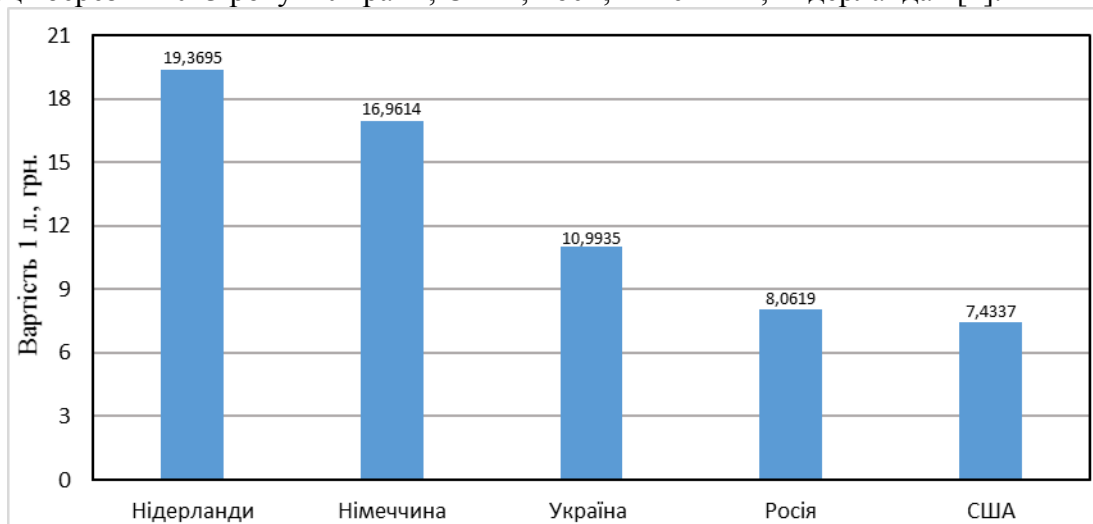


Рисунок 1 – Вартість палива в обраних країнах

Електроенергія дорожчає по всьому світу і це пов'язано із зростанням споживання електроенергії в світі; зростанням цін на нафту, газу, вугілля – джерела 60 % електроенергії в світі; зменшення обсягів продажів електроенергії за регульованими цінами (тарифами) на оптовому ринку електроенергії; з цінами потужності на оптовому ринку, співвідношення витрат на оплату потужності в загальному обсязі витрат на одиницю електроенергії; механізму формування тарифів для населення.

Електрична енергія, на даний момент, є вже не просто продуктом, а стратегічним товаром, відсутність якого зведе нанівець багато досягнень сучасної цивілізації. Вартість електроенергії для жителів різних країн відрізняється в рази. Про це свідчить дослідження тарифів на електроенергію для населення в різних країнах, проведене експертами РІА Рейтинг. За офіційними даними статистики середня вартість електроенергії на 2012 року в Україні, США, Росії, Німеччині, Нідерландах наведені на рис. 2 [5].

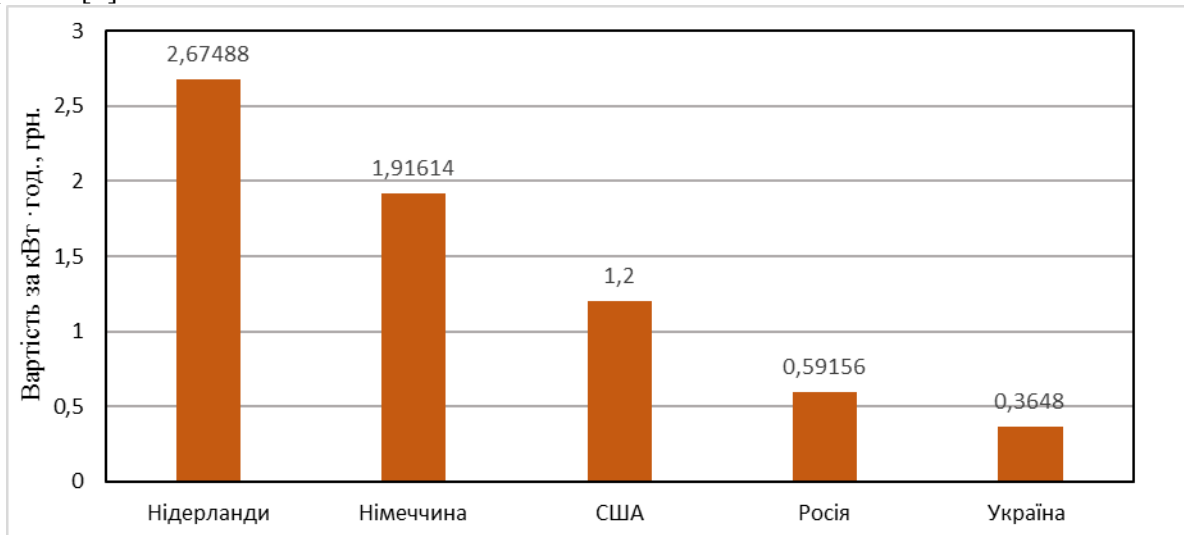


Рисунок 2 – Вартість електроенергії в обраних країнах

Вартість експлуатації гібридних автомобілів можна розрахувати на яку завгодно відстань. Вартість експлуатації гібридних автомобілів в загальному вигляді розраховується, як сума двох складових. Перша складова – це вартість експлуатації гібридного автомобіля у режимі електромобіля  $C_{Електро}$ , грн./км. Друга складова – це вартість експлуатації гібридного автомобіля в гібридному режимі  $C_{Гібрид}$ , грн./100 км.

В якості початкових даних для розрахунку оберемо реальні тести на економічність гібридних автомобілів Toyota Prius PHV та Chevrolet Volt, які проведені у США. Ці данні зведені в табл. 3.

Таблиця 3 – Результати порівняльних тестів на економічність гібридних автомобілів

Результати тесту	Гібридні автомобілі	
	Prius PHV	Volt
Витрата електроенергії в режимі електромобіля, кВт·год./160,9 км	23,2	39,0
Витрата палива в гібридному режимі, л/100 км	4,98	7,56
Запас ходу на одному заряді батареї в режимі електромобіля, км	23,49	54,55

Проведемо порівняльний розрахунок витрати енергоносіїв (електричної енергії та палива) гібридних автомобілів Chevrolet Volt і Toyota Prius PHV та перерахуємо її у еквівалентну витрату палива для визначення реальної оцінки паливної економічності гібридних автомобілів. В загальному випадку, для будь-якої пройдені автомобілем

відстані, для розрахунку вартості енергоносіїв при експлуатації гібридних автомобілів  $C_{\text{ЕксплГА}}$  приймає вигляд

$$\begin{cases} C_{\text{Електро}} = W_{\text{Ел}} \cdot C_{\text{ЕлТАБ}}, S \leq S_{\text{Електро}} \\ C_{\text{Гібрид}} = \frac{Q_{\text{Гібрид}} \cdot C_{\text{Палива}}}{100}, S \geq S_{\text{Електро}} \\ C_{\text{ЕксплГА}} = C_{\text{Електро}} + C_{\text{Гібрид}}, S = S_{\text{Електро}} + S_{\text{Гібрид}} \end{cases}, \quad (1)$$

де  $S$  – загальний пробіг гібридного автомобіля, км;

$S_{\text{Електро}}$  – пробіг гібридного автомобіля в режимі електромобіля, км;

$S_{\text{Гібрид}}$  – пробіг автомобіля в гібридному режимі, км;

$W_{\text{Ел}}$  – витрата електроенергії акумуляторної батареї гібридного автомобіля для подолання 1 км шляху в режимі електромобіля, кВт·год./км;

$C_{\text{ЕлТАБ}}$  – вартість 1 кВт·год. енергії, що запасується в тяговій акумуляторній батареї від стандартної електричної мережі, грн./кВт·год.;

$Q_{\text{Гібрид}}$  – витрата палива в гібридному режимі, л/100 км;

$C_{\text{Палива}}$  – вартість палива, грн./л.

Для аналізу відносної паливної економічності гібридних автомобілів доцільно розрахувати вартість енергоносіїв на добовий пробіг (від зарядки ТАБ до наступної зарядки), який в загальному випадку може бути дорівнювати будь-якої відстані, грн./км.

$$C_{\text{Добова/км}} = \frac{C_{\text{ЕксплГА}}}{S_{\text{добова}}} \quad (2)$$

де  $C_{\text{Добова/км}}$  – добова (від зарядки ТАБ до наступної зарядки) вартість енергоносіїв при експлуатації гібридних автомобілів, грн.;

$S_{\text{Добова}}$  – добовий пробіг гібридного автомобіля, км.

Від пройденого добового пробігу  $S_{\text{Добова}}$  будуть в значній мірі залежить вартість одного км пробігу  $C_{\text{Добова/км}}$  гібридного автомобіля. Як правило, чим менше денний пробіг гібридного автомобіля та чим менше його середня швидкість, тим дешевше коштує км його пробігу. На відміну від автомобілів з ДВЗ, в яких велика витрата палива відбувається саме на перших км пробігу та на невеликих середніх швидкостях, що пов'язане з інтенсивним прогрівом ДВЗ при виході його температури на номінальне значення та з тим, що автомобіль в пробках та заторах має низьку середню швидкість (до 30 км/год.), а ДВЗ працює неефективно.

Проведемо порівняльні розрахунки щодо паливної та енергетичної економічності гібридних автомобілів Chevrolet Volt та Toyota Prius PHV при їх експлуатації на території України, США, Росії, Німеччині, Нідерландах згідно відповідних цін на бензин та електричну енергію.

Для докладного дослідження вартості енергоносіїв при експлуатації гібридних автомобілів Chevrolet Volt та Toyota Prius проведемо розрахунок витрати палива та електричної енергії гібридних автомобілів за формулою (1) при пробігу автомобілів на різну відстань  $S$ : від 10 до 400 км.

Для зручності оцінки паливної та енергетичної економічності гібридних автомобілів Chevrolet Volt і Toyota Prius PHV проведемо за формулою (2)

еквівалентний перерахунок вартості енергоносіїв у еквівалентну витрату палива (бензин) за цінами на електричну енергію та паливо в різних країнах (в Україні, Росії, США, Німеччині, Нідерландах), та побудуємо відповідні графіки функцій  $Q=f(S)$ . Ці дослідження дозволять адекватно оцінити реальну паливну економічність гібридних автомобілів Chevrolet Volt і Toyota Prius.

**Результати досліджень.** Порівняльний графік залежності вартості енергоносіїв від добового пробігу автомобіля Toyota Prius PHEV на території України, Росії, США Німеччині, Нідерландах наведені на рис. 3.

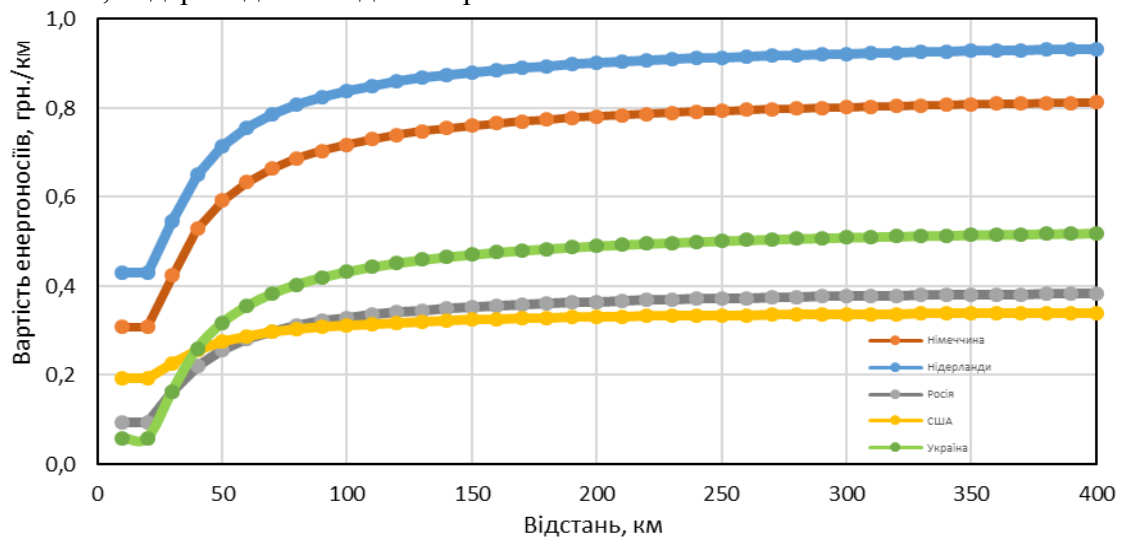


Рисунок 3 – Графік залежності вартості енергоносіїв від добового пробігу гібридних автомобілів Toyota Prius PHEV на території України, Росії, США, Німеччині, Нідерландах

Порівняльний графік залежності вартості енергоносіїв від добового пробігу автомобіля Chevrolet Volt на території України, Росії, США Німеччині, Нідерландах наведені на рис. 4.

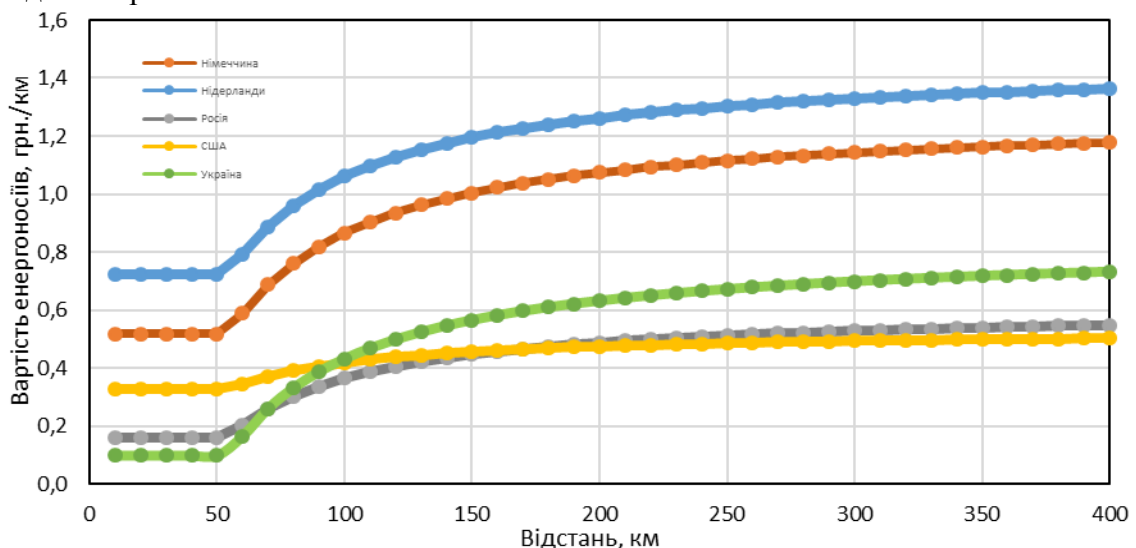


Рисунок 4 - Графік залежності вартості енергоносіїв від добового пробігу гібридних автомобілів Chevrolet Volt, на території України, Росії, США Німеччині, Нідерландах

**Висновки.** В роботі проведений порівняльний розрахунок вартості енергоносіїв при експлуатації гібридних автомобілів Chevrolet Volt та Toyota Prius PHV на території України, Росії, США Німеччині, Нідерландах. Гібридний автомобіль Toyota Prius PHV у 1,5 разу економніше, ніж Chevrolet Volt. Найбільш економічним режимом гібридних автомобілів у всіх країнах є режим електромобіля, при цьому вартість пробігу в режимі електромобіля у 1,5...8 разів нижче (в залежності від країни), ніж вартість пробігу у гібридному режимі. На Україні вартість пробігу гібридного автомобіля в режимі електромобіля у 7...8 разів менш, ніж вартість його пробігу у гібридному режимі. Менш всього різниця між вартістю пробігу на електричній тязі та на ДВЗ помітна на території США, тому саме у США робиться акцент саме на екологічність гібридних автомобілів.

Самий економічний режим електромобіля на Україні, а самий економічний гібридний режим у США. Самий неекономічний режим електромобіля та гібридний режим у Нідерландах. Проведені дослідження свідчать, що є відповідна залежність між вартістю електричної енергії та вартістю палива. Виняток – це США та Росія, що мають великі нафтові ресурси. Результати проведених досліджень дійсно демонструють значні переваги експлуатації автомобілів з тяговим електричним приводом, особливо на території України.

**Список літератури:** 1. <http://www.kbb.com/> 2. *Бажинів О. В.* Синергетичний автомобіль. Теорія і практика / *О. В. Бажинів, О. П. Смирнов, С. А. Серіков, В. Я. Дзядненко.* – Х.: ХНАДУ, 2011. – 236 с. 3. *Бажинів О. В.* Гібридні автомобілі / *О. В. Бажинів, О. П. Смирнов, С. А. Серіков [та ін.].* – Х.: ХНАДУ, 2008. – 327 с. 4. <http://pimpik.org/?p=1351> 5. [http://statistic.su/blog/cost\\_of\\_electricity\\_around\\_the\\_world/2012-12-19-846](http://statistic.su/blog/cost_of_electricity_around_the_world/2012-12-19-846).

*Надійшла до редколегії 15.05.2013*

УДК 629.3+504

**Методика оцінки паливної економічності гібридних автомобілів / А. О. Смирнова // Вісник НТУ «ХП».** Серія: Автомобіле- та тракторобудування, 2013. – № 30 (1003). – С. 114–120. – Бібліогр.: 5 назв.

В работе предлагается методика оценки топливной экономичности гибридных автомобилей для различных стран мира. Проведен сравнительный анализ топливной экономичности гибридных автомобилей Chevrolet Volt и Toyota Prius PHV. Сформулированы выводы про целесообразность использования гибридных автомобилей в зависимости от ежедневного пробега.

**Ключевые слова:** гибридный автомобиль, топливная экономичность, электрическая энергия, пробег на электрической тяге, расход топлива, аккумуляторная батарея.

This paper proposes a technique of an estimation fuel efficiency of hybrid cars to different countries of the world. A comparative analysis of the fuel efficiency of hybrid cars Chevrolet Volt and Toyota Prius PHV. Formulated conclusions about the appropriateness of the use of hybrid cars, depending on daily mileage.

**Keywords:** hybrid car, fuel economy, electricity, mileage on electricity, fuel consumption, battery.