

## ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ УМОВ ЕКСПЛУАТАЦІЇ НА ЕКОНОМІЧНІСТЬ ГІБРИДНИХ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ З ЗОВНІШНІМ ЗАРЯДОМ

О.П. Смирнов, професор, д.т.н., А.О. Борисенко, доцент, к.т.н., ХНАДУ

*Анотація.* Стаття присвячена вирішенню важливої та актуальної науково-прикладної задачі, що пов'язана з підвищенням ефективності використання гібридних транспортних засобів за рахунок дослідження впливу умов експлуатації на їх економічність. Як об'єкт дослідження обраний гібридний транспортний засіб з зовнішнім зарядом створений на базі ЗАЗ Ланос Пікап на кафедрі автомобільної електроніки ХНАДУ.

*Ключові слова:* економічність, гібридний транспортний засіб, гібридна силова установка, зовнішній заряд, умови експлуатації, добовий пробіг.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ УСЛОВИЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ НА ЭКОНОМИЧНОСТЬ ГИБРИДНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ С ВНЕШНИМ ЗАРЯДОМ

О.П. Смирнов, профессор, д.т.н., А.О. Борисенко, доцент, к.т.н., ХНАДУ

*Аннотация.* Статья посвящена решению важной и актуальной научно-прикладной задаче, которая связана с повышением эффективности использования гибридных транспортных средств за счет исследования влияния условий эксплуатации на их экономичность. Как объект исследования выбрали гибридное транспортное средство с возможностью внешней подзарядки на базе ЗАЗ Ланос Пикап на кафедре автомобильной электроники ХНАДУ

*Ключевые слова:* экономичность, гибридное транспортное средство, гибридная силовая установка, внешний заряд, условия эксплуатации, суточный пробег

## INVESTIGATION OF THE EFFECT OF OPERATING CONDITIONS ON ECONOMICITY OF HYBRID VEHICLES WITH EXTERNAL CHARGES

O.P. Smirnov, professor, dr. eng. sc.,

A.O. Borisenko, assistant professor, cand. eng. sc., KhNAHU

*Abstract.* The article is devoted to the solution of an important and urgent scientific and applied problem, which is connected with the hanging of the efficiency of using hybrid vehicles due to the investigation of the influence of operating conditions on their economy. As a research object, they chose a hybrid vehicle with the possibility of external undercharging based on ZAZ Lanos Pickup at the Department of Automotive Electronics HNADU.

*Key words:* economy, hybrid vehicle, hybrid power plant, external charge, operating conditions, daily mileage

### Вступ

На сьогодні конкурентоспроможний і порівняно екологічно чистий транспортний засіб можна зробити за рахунок розроблення гібридного транспортного засобу. Як накопичувач енергії доцільно застосовувати літій-

іонні акумуляторні батареї. Найбільш зручними в експлуатації є гібридні транспортні засоби, які мають режим «тільки електрика», та які здатні накопичувати енергію у блоці тягової акумуляторної батареї безпосередньо від стаціонарних джерел електричної енергії. Саме за таким принципом розроблений гіб-

ридний транспортний засіб на базі ЗАЗ Ланос Пікап, що побудований на кафедрі автомобільної електроніки ХНАДУ. Такий підхід до створення силової установки транспортного дозволяє суттєво підвищити економічність, екологічність та поліпшити тягово-швидкісні характеристики автомобіля [1].

Слід зазначити, що на економічність гібридних транспортних засобів більшою мірою впливають умови експлуатації, добовий пробіг та майстерність водія, стиль та характер водіння. Саме тому в серійних гібридних транспортних засобах та електромобілях застосовуються спеціальні системи, які навчають водіїв економному водінню.

### Аналіз досліджень та публікацій

В даному дослідженні проведено моделювання впливу умов експлуатації (дорожніх та природнокліматичних умов, навантаження автомобіля та його добового пробігу) на економічність гібридних транспортних засобів з зовнішнім зарядом, які мають режим «тільки електрика».

Вплив умов експлуатації на паливну економічність традиційних транспортних засобів з двигуном внутрішнього згорання (ДВЗ) досконально досліджено у багатьох публікаціях, наприклад [2,3]. Норми витрат палива і мастильних матеріалів на автомобільному транспорті в залежності від експлуатаційних умов регламентовані у вітчизняних та міжнародних нормативних документах [4-6].

Але проблема впливу умов експлуатації на енергетичну економічність гібридних транспортних засобів потребує додаткового дослідження. Це пов'язано в першу чергу з застосуванням накопичувача електричної енергії, як правило, тягових акумуляторних батарей літій-іонного типу. Крім того, самі гібридні транспортні засоби відрізняються методом підключення двигунів (ДВЗ та електричного) до приводу. Розрізняють послідовну (наприклад, у Chevrolet Volt), паралельну (Honda Insight) та послідовно-паралельну (Toyota Prius) схеми гібридних технологій.

Правила ЄЕК ООН № 83-05:2005, IDT формулює «загальне визначення гібридних транспортних засобів:

- "під гібридним транспортним засобом (ГТЗ)" мається на увазі транспортний засіб,

що має не менше двох різних перетворювачів енергії і двох різних (бортових) систем акумулювання енергії для цілей приведення до руху транспортного засобу;

- "під гібридним електромобілем (ГЕМ)" мається на увазі транспортний засіб, який для цілей приведення цього транспортного засобу до руху механічним способом використовує енергію з наступних двох бортових джерел акумульованої електричної енергії / потужності: споживане паливо та пристрій для акумулювання електричної енергії / потужності (наприклад, батарея, конденсатор, маховик / генератор і т.д.)" [6].

Особливістю конструкції гібридного транспортного засобу, що створений на базі ЗАЗ Ланос Пікап, є те, що він має можливість заряду тягової акумуляторної батареї від зовнішньої електричної мережі та має режим «тільки електрика».

Для оцінки економічності гібридних транспортних засобів з зовнішнім зарядом застосовується методика розрахунку витрат на енергоносії в залежності від добового пробігу, яка враховує добовий пробіг (від заряду до заряду тягової акумуляторної батареї), експлуатаційні, економічні та природнокліматичні умови використання [7,8].

### Мета та постановка задачі

Мета дослідження – підвищення ефективності використання гібридних транспортних засобів за рахунок дослідження впливу умов експлуатації на їх економічність.

Для досягнення поставленої мети необхідно:

- визначити початкові данні для відповідного розрахунку;

- провести дослідження впливу умов руху, добового пробігу та природно-кліматичних умов на економічність гібридних транспортних засобів на прикладі модернізованого ЗАЗ Ланос Пікап;

- провести натурні випробування модернізованого ЗАЗ Ланос Пікап для підтвердження одержаних результатів наукового дослідження;

- сформулювати рекомендації щодо подальшого використання (впровадження) отриманих результатів.

Об'єкт дослідження – вплив дорожніх та природнокліматичних умов, добового пробі-

гу, навантаження модернізованого у гібридний варіант ЗАЗ Ланос Пікап на його економічність.

Наукова новизна визначається тим, що вперше одержано залежності впливу різних експлуатаційних умов на економічність гібридного транспортного засобу ЗАЗ Ланос Пікап, що має можливість зовнішнього заряду та режим «тільки електрика». Удосконалюється метод визначення витрат енергоносіїв та еквівалентної витрати палива гібридними транспортними засобами в залежності від умов експлуатації, який на відміну від відомих, враховує режими руху «тільки електрика» та «тільки паливо».

### Початкові данні для проведення дослідження

Гібридна силова установка автомобіля ЗАЗ Ланос Пікап, на відміну від закордонних гібридних транспортних засобів (наприклад, Toyota Prius та Chevrolet Volt), спроектований таким чином, що два силових агрегати (ДВЗ і електропривод) працюють як сумісно, так і автономно. Такий принцип побудови гібридної силової установки дозволяє підвищити надійність транспортного засобу, тому що при будь-якому несправному блоці в системі електропривода він може експлуатуватися як звичайний автомобіль із ДВЗ, і навпаки, при несправному ДВЗ або системи його живлення, буде можливість користуватися гібридним транспортним засобом як електромобілем [9].

Система управління гібридною силовою установкою автомобіля ЗАЗ Ланос Пікап має наступні основні режими роботи: «тільки електрика», «гібридний», «тільки паливо», «рекуперативне гальмування», «стоянка-заряд» (рис. 1).



Рис. 1 – Ілюстрація режимів роботи гібридної силової установки автомобіля ЗАЗ Ланос Пікап

Час повного заряду ТАБ у режимі «стоянка-заряд» відбувається за 3...4 год. Повний за-

ряд рекомендується проводити у нічні часи, коли діють зменшені тарифи на електроенергію. Основні технічні характеристики модернізованого у гібридний варіант ЗАЗ Ланос Пікап зведені до таблиці 1.

Таблиця 1 – Основні характеристики гібридного ЗАЗ Ланос Пікап

Усереднена характеристики	Режими		
	тільки електрика	гібридний	тільки паливо
Пробіг, км	27	476	450
Витрата палива, л/100 км	-	3,8	9,5
Витрата електроенергії, кВт·год/км	0,18	0,08	-

Для живлення гібридної силової установки ЗАЗ Ланос Пікап застосовується пристрій акумулювання електричної енергії, що складається з 20 послідовно з'єднаних літій-залізо-фосфатних (LiFePO<sub>4</sub>) акумуляторів типу LFP090АНА 3.2V/90Ah. Ці акумулятори виробляє компанія Thunder Sky Group Limited спеціально для застосування в гібридних транспортних засобах, електромобілях та інших електричних транспортних засобах.

Основні експлуатаційні характеристики акумулятора зведені до таблиці 2.

Таблиця 2 – Основні експлуатаційні характеристики акумулятора TS-LFP90АНА

Тип	Літій-залізо-фосфатний
Ємність С, А·год	90
Струм заряду, А	0,5 · С
Максимальний струм розряду, А	3 · С
Робоча напруга, В	2,5...4,25
Кількість циклів заряд-розряд	3000...5000
Діапазон робочих температур, °С	- 45...+ 85
Довжина / ширина / висота, мм	145 / 61 / 220
Маса, кг	3,2

Загальна енергоємність тягової акумуляторної батареї модернізованого ЗАЗ Ланос Пікап складає 5,76 кВт·год. Для практичного використання акумулятори TS-LFP90АНА зібрані у металеві міцні пакети та сумісно з системою балансування батарей розміщені в салоні автомобіля за сидінням водія і пасажирів.

Серед розповсюджених акумуляторів найбільшу ефективність заряду і розряду (ККД) при знижених і підвищених температурах мають літій-залізо-фосфатні акумулятори.

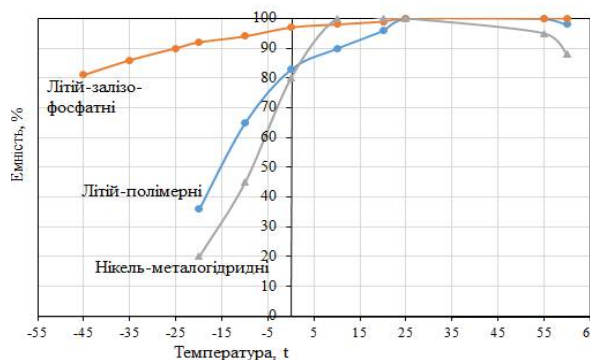


Рис. 2 – Ефективність розряду акумуляторів при різних температурах

В нормальних умовах експлуатації ККД акумулятора TS-LFP90АНА становить не менше 97 %.

#### Дослідження впливу умов експлуатації на економічність гібридного транспортного засобу

На економічність гібридних транспортних засобів с системою заряду від зовнішнього джерела енергії та гібридних електромобілів значно впливає відстань, яку він подолає. В даному випадку буде зворотня характеристика, на відміну від звичайного автомобіля з ДВЗ, тобто чим менше пробіг, наприклад, Chevrolet Volt або Toyota Prius PHV, тим менше еквівалентна витрата палива. Менша витрата палива пов'язана з тим, що транспортний засіб деяку відстань може подолати в режимі «тільки електрика» без підключення двигуна внутрішнього згорання [10].

Електрична енергія для руху у режимі «тільки електрика» береться від високовольтних тягових акумуляторних батарей, які в свою чергу запасуються енергією від стаціонарної електричної мережі. Вартість електричної енергії у більшості країн світу значно менше, ніж вартість вуглеводневого палива, що потрібні для подолання однакової відстані.

Для досягнення поставленої мети проведено дослідження витрат енергоносіїв гібридного транспортного засобу від умов руху, добового пробігу та природно-кліматичних умов. Розрахунок економічності гібридних транспортних засобів заснований на тому, що для руху механічним способом вони використо-

вують енергію з двох різних (бортових) систем акумулявання енергії для цілей приведення до руху транспортного засобу: споживане паливо та витрати електричної енергії.

За одиницю виміру економічності засобів транспорту, як правило, береться відстань 100 км, на яку, в загальному випадку, гібридний транспортний засіб може витратити відповідно декілька кВт·год електричної енергії та декілька літрів палива, які можна перерахувати у відповідну вартість цих складових та відповідну витрату палива (л/100 км). Розрахунок економічності проводився у двох режимах «тільки електрика» (рух на електроприводі), «тільки паливо» (рух на бензині Аи-95).

Дослідження зміни еквівалентної витрати палива модернізованого ЗАЗ Ланос Пікап (фіксована маса 1250 кг) від добового пробігу в середніх умовах руху (питома витрата енергії складає 0.15 Вт·год/(кг·км)) та при різній температурі навколишнього середовища (-25 °С, 0 °С, +25 °С) наведено на рис. 3.

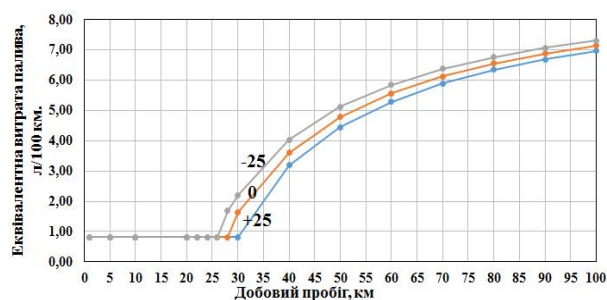


Рис. 3 – Залежність еквівалентної витрати палива від добового пробігу при різній температурі

Результати дослідження демонструють, що при зміні температури від +25 до -25 °С знижується пробіг гібридного транспортного засобу ЗАЗ Ланос Пікап в режимі «тільки електрика» з 30 до 26 км, а еквівалентна витрата палива при добовому пробігу 50 км збільшується з 4,4 до 5,1 л/100 км.

Проведено дослідження впливу різної маси гібридного транспортного засобу (від 1120 до 1595 кг) на еквівалентну витрату палива в залежності від добового пробігу при температурі навколишнього середовища 0 °С та в середніх умовах руху (рис. 4). Результати дослідження демонструють, що збільшення маси гібридного транспортного засобу з 1120

до 1595 кг спричиняє зменшення загального пробігу в режимі «тільки електрика» з 33 до 22 км, а еквівалентна витрата палива при добовому пробігу 50 км змінюється з 4 до 5,8 л/100 км при температурі навколишнього середовища 0 °С та в середніх умовах руху.

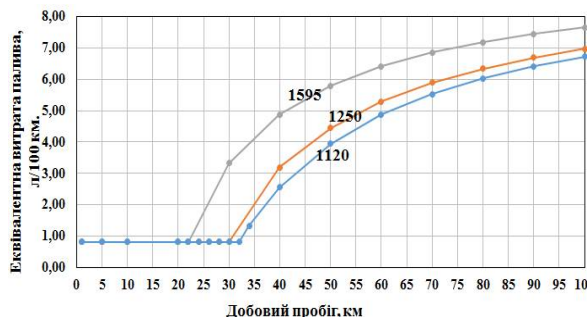


Рис. 4 – Залежність еквівалентної витрати палива від добового пробігу при різній масі

Проведено дослідження еквівалентної витрати палива від добового пробігу модернізованого ЗАЗ Ланос Пікап в залежності від умов руху (питомої витрати енергії від 0,1 Вт·год/(кг·км) (легкі) до 0,2 Вт·год/(кг·км) (складні)) при масі автомобіля 1250 кг та температурі навколишнього середовища 0 °С. Результати моделювання демонструються на рис. 5.

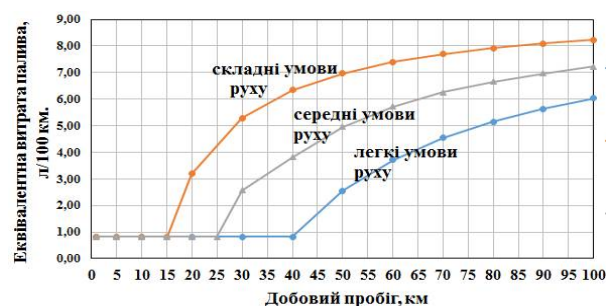


Рис. 5 – Залежність еквівалентної витрати палива від добового пробігу в різних умовах руху

Таблиця 3 – Вплив зміни параметрів на добовий пробіг модернізованого ЗАЗ Ланос Пікап

Маса, кг	Питоме споживання енергії, Вт·год/(кг·км) (умови руху)	Температура навколишнього середовища, °С	Добовий пробіг, км	Вплив, %
1120–1250	0,15	0	32,9...29,2	11,3
1250–1595			29,2...23,1	20,9
1250	0,1...0,15	0	48,9...29,9	33,4
	0,15...0,25		29,9...17,9	40,1
1250	0,15	+25...0	28,6...27,9	2,4
		0...–25	27,9...24,3	13,1

Результати дослідження демонструють, що погіршення умов руху спричиняє зменшення добового пробігу з 40 до 15 км, а еквівалентна витрата палива при добовому пробігу 50 км буде збільшуватися з 2,5 до 6,9 л/100 км, при масі автомобіля 1250 кг та при температурі 0 °С.

Проведено моделювання залежності вартості енергоносіїв при масі модернізованого ЗАЗ Ланос Пікап 1250 кг і при температурі навколишнього середовища 0 °С залежно від пробігу при складних та легких умовах руху (питоме споживання енергії відповідно 0,2 та 0,1 Вт·год/(кг·км)) (рис. 6).

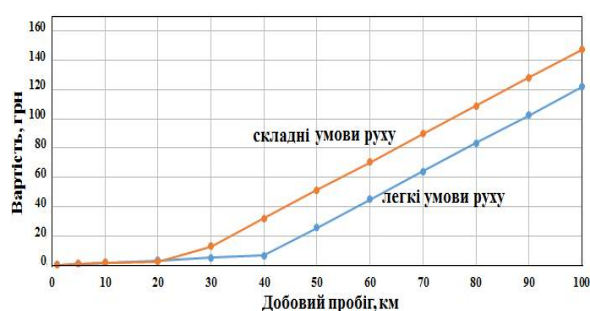


Рис. 6 – Залежність витрат на енергоносії від добового пробігу

Таким чином проведено дослідження добового пробігу у режимі «тільки електрика» від завантаженості (маси автомобіля), умов експлуатації (питомого споживання енергії), температури навколишнього середовища. Загальні результати наукового дослідження щодо впливу зміни умов експлуатації, температури навколишнього середовища та добового пробігу на економічність модернізованого у гібридний варіант ЗАЗ Ланос Пікап зведені до табл. 3.

Результати моделювання демонструють, що збільшення маси з 1120 до 1595 кг призводить до зменшення пробігу з 32,9 до 23,1 км, а еквівалентна витрата палива під час добового пробігу 50 км змінюється з 5 до 6,4 л/100 км за температури 0 °С у середніх умовах експлуатації. Ускладнення умов руху призводить до зменшення добового пробігу з 48,9 до 17,9 км при масі 1250 кг за температури 0 °С, а еквівалентна витрата палива буде збільшуватися з 2,5 до 6,9 л/100 км. Добовий пробіг в режимі «тільки електрика» при зниженні температури навколишнього середовища з +25 до 0 °С змінюється неістотно (на 2,4 %), за подальшого зниження температури до –25 °С добовий пробіг знижується на 13,1 %.

Натурні випробування модернізованого ЗАЗ Ланос Пікап в реальних умовах експлуатації підтверджують розрахункові дані, що отримані у даному дослідженні. Для дослідження робочих процесів гібридної силової установки модернізованого ЗАЗ Ланос Пікап розроблений спеціальний інформаційно-вимірний комплекс [11].

Рекомендації щодо подальшого використання (впровадження) отриманих результатів дослідження полягають у тому, що вони можуть бути використані для складання програми на мобільні пристрої, які дозволять розрахувати еквівалентну витрату палива і вартість пробігу гібридного транспортного засобу на будь-яку задану відстань і при будь-яких умовах експлуатації.

Удосконалена методика визначення економічності гібридних транспортних засобів може бути використана для складання калькулятора економічності для інших гібридних транспортних засобів з зовнішнім зарядом та гібридних електромобілів. Методологічні основи розрахунку доцільно реалізувати в програмних додатках для смартфонів та навігаторів. Програма, згідно з технічними характеристиками гібридного транспортного засобу, запланованої відстані поїздки, навантаження та з урахуванням природно-кліматичних умов та умов руху, розраховує такі важні для водія параметри, як витрати енергоносіїв, еквівалентну витрату палива, витрати на поїздку.

## Висновки

При формуванні початкових даних для розрахунку визначено, що серед розповсюджених акумуляторів найбільшу ефективність заряду і розряду при знижених і підвищених температурах мають літій-залізо-фосфатні акумулятори. Саме до такого типу акумуляторів відноситься LFP090ANA 3.2V/90Ah. Гібридна силова установка ЗАЗ Ланос Пікап отримує живлення від 20 послідовно з'єднаних акумуляторів загальною енергоємністю 5,76 кВт·год.

Виконано дослідження впливу умов руху, добового пробігу та природно-кліматичних умов на економічність модернізованого ЗАЗ Ланос Пікап, яке демонструє, що пробіг у режимі «тільки електрика» при масі автомобіля 1250 кг в легких умовах руху досягає 40 км. Збільшення навантаження до повної маси 1595 кг знижує максимальний пробіг до 23,1 км у середніх умовах руху. Ускладнення експлуатаційних умов зменшує пробіг до 20 км. Зниження температури навколишнього середовища до –25 °С впливає на пробіг у режимі «тільки електрика» на 15,5 %. Проведено дослідження свідчить, що рух гібридного транспортного засобу в режимі «тільки електрика» є не тільки екологічним, але й менш витратним.

Подальше використання (впровадження) отриманих результатів полягає у складанні мобільних додатків для смартфонів та навігаторів для калькулятора економічності будь-якого гібридного транспортного засобу або гібридного електромобіля.

## Література

1. Бажинов О.В. Синергетичний автомобіль. Теорія і практика: моногр. / О.В. Бажинов, О.П. Смирнов, С.А. Серіков, В.Я. Двадненко; – Х.: ХНАДУ, 2011. – 236 с.
2. Говорущенко Н.Я. Системотехніка автомобільного транспорту (расчетные методы исследований): монографія / Н.Я. Говорущенко. – Харьков: ХНАДУ, 2011. – 292 с.
3. Говорущенко Н.Я. Экономия топлива и снижение токсичности на автомобильном транспорте: монографія / Н.Я. Говорущенко. – М.: Транспорт, 1990. – 133 с.
4. ГОСТ 20306-90 Автотранспортные средс-

- тва. Топливная экономичность: ГОСТ 20306-90 – [Дата введення 1992-01-01]. – М. Издательство стандартов. 1991. - 32 с.
5. Норми витрат палива і мастильних матеріалів на автомобільному транспорті. Наказ Міністерства транспорту України від 10 лютого 1998 року № 43 [Електронний ресурс] / Електронні данні. – Режим доступу: [http://www.zakon-inormativ.info/pdf/normi\\_vitrat\\_paliva.pdf](http://www.zakon-inormativ.info/pdf/normi_vitrat_paliva.pdf)
  6. ДСТУ UN / ECE R 83-05: 2009. Єдині технічні приписи щодо офіційного затвердження колісних транспортних засобів стосовно викидів забруднювальних речовин залежних від палива, необхідного для двигунів (Правила СЕК ООН № 83-05:2005, IDT).
  7. Смирнова А.О. Методика оцінки паливної економічності гібридних автомобілів / А.О. Смирнова // Вісник Національного технічного університету «ХПІ»: збірник наукових праць. Серія «Автомобіле- та тракторобудування». – 2013. – № 30 (1003). – С. 114–120.
  8. Борисенко А.О. Експлуатаційні властивості гібридних автомобілів / А.О. Борисенко, Т.О. Бажинова; – Х.: ФОП Бровін О.В., 2016. – 154 с.
  9. Смирнов О.П. Підвищення надійності гібридних силових установок / О.П. Смирнов, О.А. Борисенко // Автомобіль і електроніка. Сучасні технології: електронне наукове спеціалізоване видання. – 2016. – № 9. – с. 32-36. – ISSN 2226-9266 – Режим доступу к джерелу: [http://www.khadi.kharkov.ua/fileadmin/P\\_SIS/AE16\\_1/1.6.pdf](http://www.khadi.kharkov.ua/fileadmin/P_SIS/AE16_1/1.6.pdf).
  10. Smirnov O.P. Substantiation of Rational Technical & Economic Parameters of Hybrid Car / Smirnov O.P., Veselaya M.A., Bazhinova T.A. // Automation, Software Development & Engineering Journal Vol.1 – ISSN 2415 – 6531 Mode of access: World Wide Web: <http://asdej.xyz/wp-content/plugins/pdf-viewer/stable/web/viewer.html?file=http://asdej.xyz/Files/ID20161031.pdf> (viewed on October, 2016). – Title from the screen.
  11. Сериков С.А. Информационно-измерительный комплекс для исследования рабочих процессов силовой установки гибридного автомобиля / С.А. Сериков, В.Я. Двадненко, Ю.Н. Бороденко, А.Н. Сергиенко // Вісник СевНТУ: Зб. наук. пр. Вип. 143/2013. Серія: Машиноприладобудування та транспорт. – Севастополь, 2013. – С. 122 – 126.
- Рецензент: О.В. Бажинов, професор, д.т.н., ХНАДУ
- Стаття надійшла до редакції 6 листопада 2017 р.