

Захарчук В.І., Ткачук В.В., Захарчук О.В., Цикун Ю.О.
Луцький національний технічний університет

АДАПТУВАННЯ БІОДИЗЕЛЬНОГО ПАЛИВА ДО ВИКОРИСТАННЯ В АВТОТРАКТОРНІЙ ТЕХНІЦІ

Традиційне біодизельне паливо, яким є метиловий ефір ріпакової олії, виготовляється з використанням метанолу, а значить є високотоксичним та агресивним до матеріалів двигуна. Тому в Луцькому НТУ створено нове біодизельне паливо на основі ріпакової олії та ізопропілового спирту – ріпаковий ізопропіловий ефір. Наведена порівняльна характеристика експлуатаційних властивостей синтезованого продукту та інших біодизельних палив, а також нафтового палива. Недоліком даного палива є те, що в'язкість ріпакового ізопропілового ефіру в три рази більша за в'язкість нафтового палива. Наведено результати розрахункових досліджень хіміко-енергетичних показників різних палив. Розроблені способи поліпшення експлуатаційних характеристик ріпакового ізопропілового ефіру, зокрема зменшення його в'язкості, оскільки підвищена в'язкість може призвести до погіршення роботи дизеля. Пропонується використовувати дане біопаливо в підігрітому до 65°C стані. В цьому випадку в'язкість біопалива наближається до в'язкості нафтового дизельного палива. Потрібне значення в'язкості можна отримати також змішуванням ріпакового ізопропілового ефіру з нафтовим паливом. Додавка 25 % біопалива до нафтового палива дозволяє отримати прийнятне значення в'язкості сумішевого палива. Зроблено висновок про високу якість синтезованого біопалива та можливість його застосування в дизелях.

Ключові слова: біодизельне паливо, ізопропіловий ефір ріпакової олії, експлуатаційні властивості.

Вступ. Ситуація, яка склалась в Україні із забезпеченням її економіки недостатніми обсягами енергоносіїв власного видобутку, в умовах енергетичної залежності від Росії, гостро ставить проблему пошуку альтернативних видів палива. Тому виробництво і застосування біопалив в Україні є надзвичайно актуальним питанням сьогодення.

Результати дослідження. Традиційне біодизельне паливо виробляється із застосуванням метилового спирту, який є високотоксичним та небезпечним для здоров'я людей. Це суттєвий негативний фактор з точки зору екологічної безпеки при виробництві біопалива (особливо в умовах сільськогосподарського виробництва) та його використанні, адже через ефекти деструкції можливе виділення з біопалива метилового спирту, особливо при відхиленні від нормальної роботи паливної системи двигуна. Також недоліком метилового ефіру є те, що він є досить агресивною речовиною по відношенню до матеріалів деталей двигуна (метали, гума). Тому при його застосуванні вимагається заміна паливних баків, паливних шлангів та прокладок на такі, що виготовлені зі стійкого до метилового ефіру ріпакової олії (МЕРО) матеріалу, а також частіша заміна моторного масла, що створює значні труднощі для користувачів [1, 2].

В Луцькому НТУ (ЛНТУ) розроблено нове біодизельне паливо на основі ріпакової олії та ізопропілового спирту – ріпаковий ізопропіловий ефір(PIE).

Щоб забезпечити нормальну роботу транспортного засобу (ТЗ) паливо повинне мати певні експлуатаційні властивості, які визначаються їх складом та фізико-хімічними властивостями. Вирішальне значення мають фізико-хімічні властивості моторних палив, оскільки вони визначають їх сумісність з двигуном[3,4].

Експлуатаційні властивості біодизельного палива на основі ріпакової олії та ізопропілового спирту досліджувались у лабораторних умовах центральної лабораторії НПК «Галичина» (м. Дрогобич). Отримані значення порівнювались із значеннями відповідних показників еталону (PME), а також із значеннями показників нафтового дизельного палива(ДП) згідно вимог чинної нормативної документації (табл. 1).

Здатність палива до самозаймання характеризується цетановим числом (ЦЧ). Оптимальне значення ЦЧ для сучасних дизелів становить 45-55 од. Тобто ЦЧ створеного біопалива та еталону знаходяться в межах норми. Це забезпечить легкий запуск холодного дизеля і режим "м'якої" роботи.

В'язкість біопалива впливає на процеси його випаровування і сумішоутворення в дизелі. При малій в'язкості порушується дозування палива, зменшується далекобійність струменю. Крім цього, в'язкість визначає прокачуваність паливопроводами і мастильні властивості палива. Із зменшенням в'язкості прокачуваність палива поліпшується, але змащування прецизійних деталей паливної

апаратури погіршується. Необхідно відмітити, що в'язкість нового біопалива значно вища у порівнянні з відповідним значенням нормативних вимог. Це є недоліком РІЕ. Тому дане біодизельне паливо можна рекомендувати для експлуатації в підігрітому стані або у суміші з нафтовим ДП.

Таблиця 1. Порівняльна оцінка показників експлуатаційних властивостей РІЕ, еталону (РМЕ) та ДП

№ з/п	Найменування показників	Метод випробування	Норми за ДСТУ 3868-99	Паливо дизельне	Експериментальні дані	
					РІЕ	РМЕ (еталон)
1.	Цетанове число	ДСТУ3868-99	Не нижче 45	47	49	48
2.	Густина, г/см ³ при 20 °С	ГОСТ3900-99	Не більше 0,860	0,84	0,88	0,88
3.	Фракційний склад: 50% вик., °С 96% вик., °С, (не більше)	ГОСТ2177-99	280 370	274 363	260 322	250 367
4.	В'язкість кінематична при 40 °С, мм ² /с	ДСТУ 33-00	3,0-6,0 при 20 °С	5,4	16,1	5,6
5.	Масова частка сірки, %	ГОСТ13380-81	Не більше 0,5%	0,54	0,009	0,007
6.	Кислотність, мг КОН на 100 см ³ палива	ГОСТ5985-79	Не більше 5,0	2,7	Відс.	Відс.
7.	Температура застигання, °С	ГОСТ20287-91	Не вище -10	-14±1	-22±1	-12±1
8.	Коефіцієнт фільтрованості	ГОСТ19006-73	Не більше 3,0	2,3	1,3	1,3
9.	Гранична температура фільтрованості, °С	ГОСТ22254-92	Не вище -5	-5	-1	-2
10.	Зольність, %	ГОСТ1461-75	Не більше 0,01	0,002	0,012	0,011

Продукти згорання сірки, яка міститься в моторному паливі, спричиняють корозію деталей дизеля, забруднюють навколишнє середовище. Вміст сірки у новому біопаливі незначний, що робить дане паливо не корозійно активним. Євростандартом вводиться обмеження вмісту сірки в паливі до 15 ppm. Одночасно завдяки цьому таке паливо втрачає мастильні властивості. Завдяки добрій маслянистості і високій в'язкості біодизельного палива введення його в очищене від сірки нафтове паливо у кількості більше 2 % (за об'ємом) доводить мастильні властивості до норми.

Важливими показниками експлуатаційних властивостей моторних палив є їх низькотемпературні властивості, які характеризуються, насамперед, температурою застигання і граничною температурою фільтрованості. Ці властивості забезпечують прокачуваність палива паливопроводами, легкість проведення заправних операцій у холодну пору року [5, 6].

Температура застигання РІЕ удвічі нижча, ніж у РМЕ, і у 2,2 рази нижча, ніж вимагає ДСТУ для нафтового ДП марки "Л". Це важлива перевага нового палива над існуючими аналогами, адже вона дає можливість використовувати таке біодизельне паливо в зимовий період до температури -22 °С, тоді як еталон – до -12 °С. Коефіцієнт фільтрованості палив не повинен перевищувати 3. Обидва біопалива мають показник фільтрованості в межах норми.

Фракційний склад характеризує випаровуваність палива. Особливістю РІЕ є вузький температурний інтервал википання робочої фракції: від 260 до 322 °С, за стандартом на нафтове дизельне паливо він складає – 280-370 °С. Це може викликати утруднений запуск дизеля через недостатню кількість легких пускових фракцій.

Кислотність досліджуваного біопалива є низькою, тобто паливо не є корозійно активним. Це пояснюється тим, що кислотні сполуки нейтралізуються використанням при синтезі палива лужним каталізатором.

Зольність РІЕ, як і РМЕ, в межах норми, що свідчить про відсутність у біодизельних паливах мінеральної золи. Палива органічного походження згоряють без залишку.

З отриманих результатів можна зробити висновок, що показники експлуатаційних властивостей створеного палива не гірші за аналогічні для нафтового ДП та біопалива на основі метилового спирту (РМЕ), за винятком в'язкості, а температура застигання вдвічі нижча ($-22\text{ }^{\circ}\text{C}$), порівняно з останнім [8].

Для порівняння теплоенергетичних властивостей біодизельних палив, які відрізняються між собою за елементарним складом, розраховано нижчу теплоту згоряння. Для цього визначено елементарний склад нового біопалива відповідно до вмісту кислот у ріпаковій олії (табл. 2). В таблицю включені також дані щодо ріпакового етилового ефіру (РЕЕ) [9].

Таблиця 2. Хіміко-енергетичні показники дизельних палив

№ з/п	Показник	Паливо			
		ДП	РМЕ	РЕЕ	РІЕ
1.	Склад за масою, %				
	С	87	77,5	77,54	76,28
	Н	12,6	12,0	12,04	13,16
	О	0,4	10,5	10,42	10,05
2.	Теоретично необхідна кількість повітря для повного згоряння 1 кг палива, кг	14,45	12,70	12,73	12,98
3.	Нижча теплота згоряння, МДж/кг	42,44	37,50	37,56	38,33

Як видно з розрахунків, менша частина вуглецю в молекулах біодизельних палив призводить до зменшення їх нижчої теплоти згоряння. Тому для отримання однакової ефективної потужності дизеля при його роботі на нафтовому ДП та біодизельних паливах питома ефективна витрата палива є більшою у випадку використання біопалив. Крім того до деякого погіршення показників дизеля при роботі на біодизельних паливах призводить їх більша в'язкість у порівнянні з нафтовим паливом. Наслідком цього є дещо гірше розпилювання цього палива форсунками.

При використанні нового біодизельного палива, в якому кількість легких фракцій у порівнянні з нафтовим дизельним паливом незначна, та в три рази більша в'язкість можливе інтенсивне коксування розпилювачів форсунок. Щоб уникнути цього явища вважаємо за доцільне при використанні РІЕ в якості моторного палива його підігрівати. Вязкісно-температурна характеристика РІЕ показана на рис. 1. Як видно з рис. 1 зміна в'язкості біопалива відбувається непропорційно зміні температури.

При впорскуванні палива повинна забезпечуватись потрібна якість розпилювання і розподіл палива по камері згоряння. Це зумовлено тим, що після попадання палива в камеру згоряння необхідне швидке протікання наступних фізичних і хімічних процесів: нагрів, випаровування, змішування, окислення і т.д.

До фізико-хімічних властивостей палива, які впливають на динаміку струменя палива та дрібність розпилювання при інших однакових умовах відносять в'язкість та густину палива. В'язкість нового біопалива в три рази вища за в'язкість нафтового палива.

Підвищена в'язкість ДП утруднює прокачку паливної системи, очищення палива, наповнення надплунжерної порожнини, витікання крізь розпилювач та подріблювання струменю. При підвищенні в'язкості зростає далекобійність струменю, що зменшує частку об'ємного сумішоутворення і призводить до попадання на стінки камери згоряння більшої кількості палива. При переході на більш в'язке паливо середній діаметр крапель зростає, а кут розсіювання паливного струменя і його бокова поверхня зменшується.

З ростом густини палива по відношенню до нафтового палива зростає максимальний тиск перед форсункою, що призводить до збільшення циклової подачі палива, а також переміщується в сторону збільшення дійсний момент початку впорскування палива.

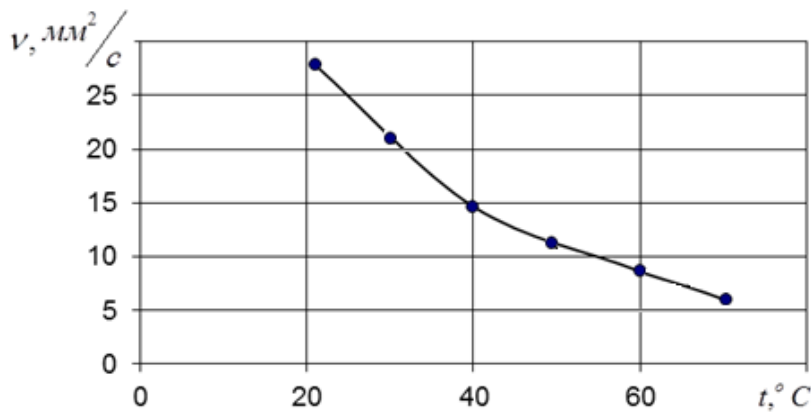


Рисунок 1. В'язкісно-температурна характеристика РЕ

Якість розпилювання палива можна вважати задовільною, якщо паливо впорскується в атмосферу в туманоподібному стані і рівномірно розподіляється в поперечному перерізі конуса струменя і по кожному отвору розпилювача. Впорскування палива форсункою з новим розпилювачем повинен супроводжуватись характерним різким скрипучим звуком.

Була проведена експериментальна оцінка якості розпилювання нового біопалива форсункою ФД-22 з новим розпилювачем на приладі КП-1609А для перевірки форсунок та порівняння з якістю розпилювання нафтового дизельного палива. Тиск впорскування нафтового палива становив 17 МПа, біопалива – 17,5 МПа. Якість розпилювання біопалива за експертною оцінкою значно гірша. Визначався кут конуса розпилювання за відбитком впорскування на листку копіювального паперу, який розміщувався на відстані 210 мм від торця розпилювача. Вісь конуса струменю співпадала з віссю соплового отвору розпилювача.

Таким чином вплив підвищеної в'язкості палива зводиться в основному до погіршення впорскування, його запізнення та затягування та до підвищення навантажень в приводі паливного насоса. Тому пропонується використовувати дане біопаливо в підігрітому до 65°C стані. В цьому випадку в'язкість біопалива наближається до в'язкості нафтового дизельного палива.

В даний час біопалива часто використовуються в сумішах з нафтовим ДП. Основною проблемою широкого використання біопалив на вітчизняній автотракторній техніці є недостатня пристосованість дизелів класичної конструктивної схеми. Для забезпечення нормативних техніко-економічних показників дизелів потрібне біопаливо, яке має ті ж експлуатаційні характеристики, що і нафтове ДП.

В таблиці 3 наведені дані нафтового ДП, біодизельного палива (РЕ) та його сумішей з ДП.

Таблиця 3. Елементарний склад, нижча теплота згоряння та фізичні властивості досліджуваних палив

Паливо	Елементарний склад			$H_u,$ МДж/кг	Густина, кг/м ³	Кінематична в'язкість, мм ² /с
	С	Н	О			
100% ДП	0,87	0,126	0,004	42,4	826	4,20
100% БДП	0,768	0,122	0,109	37,5	880	16,1
25%БДП	0,844	0,125	0,030	41,29	845	6,3
50% БДП	0,819	0,124	0,056	40,04	860	10,9

З таблиці 3 видно, що ріпаковий ізопропіловий ефір має в'язкість в 3,8 рази більшу у порівнянні з нафтовим ДП. Потрібне значення в'язкості можна отримати змішуванням РЕ з ДП. Додавка 25 % БДП дозволяє отримати прийнятне значення в'язкості сумішевого палива.

Висновки. Аналіз експлуатаційних властивостей біодизельних палив свідчить про те, що нове біодизельне паливо має нижчу температуру застигання, ніж метиловий ефір ріпакової олії, має низьку токсичність і агресивність, чим є подібним до етилового ефіру ріпакової олії, і є значно дешевшим. Недоліком нового палива є його підвищена в'язкість, але цей недолік усувається підігрівом палива або його використанням в суміші з нафтовим ДП.

1. Марков В.А. Альтернативные топлива и методика оценки их экологических качеств / В.А. Марков, А.А. Ефанов, С.Н. Девянин // Грузовик. – 2007. – №6. – С. 27–34.
2. Девянин С.Н. Растительные масла и топлива на их основе для дизельных двигателей / С.Н. Девянин, В.А. Марков, В.Г. Семенов. – Харьков: Новое слово, 2007. – 452 с.
3. Патрахальцев Н.Н. Повышение экономических и экологических качеств двигателей внутреннего сгорания на основе применения альтернативных топлив / Н.Н. Патрахальцев. – М.: РУДН, 2008. – 248 с.
4. Использование альтернативных топлив в самоходной технике : научно-информационный материал. – М.: Московский государственный агроинженерный университет им. В.П. Горюхина, 2010. – 95 с.
5. Савельев Г.С. Производство и использование биодизельных топлив из рапса / Г.С. Савельев. – М.: ГНУ ВИМ, 2007. – 96 с.
6. Уханов А.П. Рапсовое биотопливо / А.П. Уханов. – Пенза: РИО ПГСХА, 2008 – 229 с.
7. Парсаданов И.В. Повышение качества и конкурентоспособности дизелей на основе комплексного топливно-экологического критерия / И.В. Парсаданов. – Харьков: НТУ "ХПИ", 2003. – 244 с.
8. Захарчук В.И. Технология получения и эксплуатационные характеристики изопропилового эфира рапсового масла / В.И. Захарчук, В.В. Ткачук // Химия и технология топлив и масел. – 2012. – №6. – С. 3–7.
9. Захарчук В.И. Применение альтернативных топлив в автотракторных дизелях / В.И. Захарчук // Энергосбережение. – 2010. – №2. – С. 26–28.

REFERENCES

1. Markov, V., Efanov, A. & Devjanin, S. (2007). Alternative fuels and methods of assessment of their environmental qualities. [A'l'ternativnye topliva i metodika ocenki ih ekologicheskikh kachestv]. *Gruzovik*. Vol. 6. Moscow, pp. 27–34.
2. Devjanin, S., Markov, V. & Semenov, V. (2007). *Vegetable oils and fuels on their basis for diesels*. [Rastitel'nye masla i topliva na ih osnove dlja dizel'nykh dvigatelej]. Kharkiv, Novoe slovo Publ. 452p.
3. Patrahal'cev, N. (2008). *The increasing economic and environmental qualities of internal combustion engines through the use of alternative fuels*. [Povyshenij ekonomicheskij i ekologicheskij kachestv dvigatelej vnutrennego sgoranija na osnove primenija al'ternativnykh topliv]. Moscow, RUDN Publ., 248 p.
4. Using alternativnih fuel in self-propelled technology (2010). [Ispol'zovanie al'ternativnykh topliv v samohodnoj tehnikе]. *Nauchno-informacionnyj material*. Moscow: Moskovskij gosudarstvennyj agroinzhenernyj universitetim. V.P. Goriachkina, 95 p.
5. Savel'ev, G. (2007). *The production and use of biodiesel fuels from rape seed*. [Proizvodstvo i ispol'zovanie biodizel'nykh topliv iz rapsa]. Moscow, GNU VIM Publ., 96 p.
6. Uhanov, A. (2008). *Rape seed biofuel*. [Rapsvoe biotoplivo]. Penza, RIO PGSXA Publ., 229 p.
7. Parsadanov, I. (2003). *Improving the quality and competitiveness of diesel engines based on integrated fuel-ecological criteria*. [Povyshenie kachestva i konkurentosposobnosti dizelei na osnove kompleksnogo toplivno-ekologicheskogo kriterija]. Kharkiv, NTU "HPI" Publ., 244 p.
8. Zaharchuk, V. & Tkachuk, V. (2012). The technology of production and operational characteristics of the isopropyl ester of rape seed oil. [Tehnologij poluchenija i ekspluatacionnye harakteristiki izopropilovogo efira rapsovogo masla]. *Himija i tehnologija topliv i masel*, Vol. 6. Moscow, pp.3–7.
9. Zaharchuk, V. (2010). The use of alternative fuels in automotive diesel engines. [Primenenie al'ternativnykh topliv v avtotraktornykh dizel'jah]. *Energoberezenie*. Vol. 2. Moscow, pp.26–28.

Захарчук В.І., Ткачук В.В., Захарчук О.В., Цикун Ю.О. Адаптування біодизельного палива до використання в автотракторній техніці.

Традиційне біодизельне паливо, яким є метиловий ефір ріпакової олії, виготовляється з використанням метанолу, а значить є високотоксичним та агресивним до матеріалів двигуна. Тому в Луцькому НТУ створено нове біодизельне паливо на основі ріпакової олії та ізопропілового спирту – ріпаковий ізопропіловий ефір. Наведена порівняльна характеристика експлуатаційних властивостей синтезованого продукту та інших біодизельних палив, а також нафтового палива. Показники експлуатаційних властивостей створеного палива не гірші за аналогічні для нафтового палива та біопалива на основі метилового спирту, а його температура застигання є вдвічі нижчою у порівнянні з метиловим ефіром, що є суттєвим позитивним чинником. Недоліком даного палива є те, що в'язкість ріпакового ізопропілового ефіру в три рази більша за в'язкість нафтового палива. Наведено результати розрахункових досліджень хіміко-енергетичних показників різних палив. Для цього було визначено елементарний склад ріпакового ізопропілового ефіру за вмістом жирних кислот в цьому паливі. Як видно з цих результатів, менша кількість вуглецю в молекулах біодизельних палив призводить до зменшення їх нижчої теплоти згорання. Розроблені способи поліпшення експлуатаційних характеристик ріпакового ізопропілового ефіру, зокрема зменшення його в'язкості, оскільки підвищена в'язкість може призвести до погіршення роботи дизеля. Пропонується використовувати дане біопаливо в підігрітому до 65⁰С стані. В цьому випадку в'язкість біопалива наближається до в'язкості нафтового дизельного палива. Потрібне значення в'язкості можна отримати також змішуванням ріпакового ізопропілового ефіру з нафтовим паливом. Додаток 25 % біопалива до нафтового палива дозволяє отримати прийнятне значення в'язкості сумішевого палива. Зроблено висновок про високу якість синтезованого біопалива та можливість його застосування в дизелях.

Ключові слова: біодизельне паливо, ізопропіловий ефір ріпакової олії, експлуатаційні властивості.

V. Zakharchuk, V. Tkachuk, O. Zakharchuk, Yu. Tsykun. Adaptation of biodiesel fuel for use in motor machinery.

Traditional biodiesel, which is methyl ester of rapeseed oil, is manufactured using methanol, and thus is highly toxic and corrosive to the materials of the engine. So in Lutsk NTU has developed a new biodiesel based on rapeseed oil and isopropyl alcohol – isopropyl ether rapeseed. There are a comparative characteristic performance properties of the synthesized product and other biodiesel fuels, and fuel oil. The performance properties of the fuel is not worse similar to petroleum fuels and biofuels on the basis of methyl alcohol, and its melting point is twice lower in comparison with the methyl ether, which is a significant positive factor. The disadvantage of this fuel is that the viscosity of rapeseed isopropyl ether three times than more in SCCT fuel oil. There are the results of numerical studies of chemical and energetic characteristics of different fuels. For this it was determined the elemental composition of rapeseed isopropyl ether with the fatty acid content in the fuel. As far as we can see from these results, a lower amount of carbon in the molecules of biodiesel fuels leads to reduction of net calorific value. The improving methods were developed the performance of rapeseed isopropyl ether, in particular reducing its viscosity, as high viscosity can lead to deterioration of the diesel engine. It is proposed to use this biofuel in heated to 65 °C. In this case, the viscosity of the biofuel is approaching the viscosity of diesel fuel oil. The desired value of the viscosity can also be obtained by mixing isopropyl ester of rapeseed oil fuel. Supplement 25 % of biofuels to petroleum fuels allows to obtain a suitable value of the viscosity of mixed fuel. There is the conclusion about high quality of synthesized biofuels and the possibility of its application in diesel engines.

Keywords: biodiesel fuel, isopropyl ether of rapeseed oil, operational properties.

АВТОРИ:

ЗАХАРЧУК Віктор Іванович, кандидат технічних наук, доцент кафедри автомобілів і транспортних технологій, Луцький НТУ.

ТКАЧУК Валентина Віталіївна, кандидат технічних наук, доцент кафедри товарознавства та експертизи в митній справі, Луцький НТУ.

ЗАХАРЧУК Олег Вікторович, кандидат технічних наук, доцент кафедри автомобілів і транспортних технологій, Луцький НТУ, e-mail: zaharchukov205@gmail.com

ЦИКУН Юрій Олександрович, магістрант кафедри автомобілів і транспортних технологій, Луцький НТУ.

AUTHORS:

Viktor ZAKHARCHUK, PhD. in Engineering, Assoc. Professor of Motor Cars and Transport Technologies Department, Lutsk National Technical University.

Valentyna TKACHUK, PhD. in Engineering, Assoc. Professor of Commodity Science and Customs Examination Department, Lutsk National Technical University.

Oleg ZAKHARCHUK, PhD. in Engineering, Assoc. Professor of Motor Cars and Transport Technologies Department, Lutsk National Technical University, e-mail: zaharchukov205@gmail.com

Yurii TSYKUN, student of Motor Cars and Transport Technologies Department, Lutsk National Technical University.

Стаття надійшла в редакцію 02.09.2015 р.