

УДК 629.113

**В. І. ЗАХАРЧУК**, канд. техн. наук, доц. Луцький НТУ**ОЦІНКА ПЕРСПЕКТИВНОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ АЛЬТЕРНАТИВНИХ ПАЛИВ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБАХ**

Наведено результати розрахункових досліджень перспективності застосування альтернативних моторних палив в засобах технологічного транспорту методом комплексної оцінки енергетичних властивостей, екологічної безпеки та економічної ефективності експлуатації транспортного засобу. Запропонована методика дозволяє оцінити показники транспортного засобу при його роботі на різних паливах за одним комплексним показником (загальним критерієм), що значно спрощує вибір палива.

**Ключові слова:** альтернативне моторне паливо, транспортний засіб, екологічні показники

**Вступ.** На сьогоднішній день у нашій державі є великий парк колісних транспортних засобів та мобільної сільськогосподарської техніки з дизелями, які працюють на дизельному паливі нафтового походження. Але вартість дизельного палива весь час зростає та погіршується екологічна ситуація в країні. Одним з основних шляхів виходу з цієї ситуації є адаптація дизелів до роботи на альтернативних паливах [1, 2, 3]. Можливість застосування певного виду альтернативного моторного палива (АМП) визначається його регіональними ресурсами, співвідношенням цін між альтернативними та традиційними паливами, затратами на адаптацію двигунів для роботи на АМП, на інфраструктуру доставки, зберігання та заправки техніки.

**Аналіз основних досягнень і літератури.** Значна частина колісних тракторів, зокрема класу 1,4, в сільськогосподарському виробництві, комунальному господарстві та промисловості використовується в якості технологічного транспорту. В цьому випадку передбачений їх заїзд в закриті приміщення та тривала робота в цих приміщеннях. Вже через декілька хвилин роботи в двигуна в закритому приміщенні гранично допустимі концентрації викидів з відпрацьованими газами шкідливих речовин перевищують норму [4]. Зменшити це негативне явище можна використанням альтернативних моторних палив. Стосовно технологічних транспортних засобів пріоритет по АМП належить біопаливам на основі рослинних олій та газовому паливу [5,6]. Дослідженню показників ТЗ при їх роботі на АМП присвячено значна кількість робіт, виконаних в Російській Федерації [1, 2, 3], а також в НТУ, ХНАДУ, ХП [7, 8, 11]. Але на даний час відсутні комплексні дослідження системи «паливо-двигун-транспортний засіб», які з системних позицій дозволили б розробити методики оцінки впливу використовуваного палива на енергетичні, екологічні та економічні показники засобів технологічного транспорту.

**Мета дослідження, постановка задачі.** Метою роботи є дослідження показників такого виду технологічного транспорту, як колісний трактор МТЗ-80, при його роботі на альтернативних моторних паливах: природному газі у випадку переобладнання дизеля в газовий двигун з іскровим запалюванням та біодизельному паливі.

**Матеріали досліджень.** Застосування системних принципів дозволило дослідження процесу експлуатації ТЗ на АМП здійснити на моделі експлуатаційної системи «паливо-двигун-транспортний засіб» [8]. На вхід системи подається певний вид палива, яке характеризується своїм елементарним складом, нижчою теплою згоряння, ціною та іншими показниками. Виходом системи є загальний критерій вибору палива. Системний аналіз показав, що методика підбору альтернативних видів палива повинна ґрунтуватися на оцінці за різними критеріями [7]. Дослідники

сходяться на думці, що найбільш важливими є паливо-енергетичний критерій, критерій екологічної безпеки ТЗ та критерій економічної ефективності експлуатації [5, 6, 7], які включає в себе загальний критерій вибору палива.

Для комплексної оцінки експлуатаційних властивостей нафтового та альтернативних палив, а також енергетичних та паливо-економічних показників двигуна при роботі на різних паливах визначається паливо-енергетичний критерій. Для цього застосований метод аналізу ієрархій Т.Саати (МАІ). За допомогою МАІ можна вирішувати завдання багатокритеріальної оптимізації з досить великою кількістю критеріїв оптимальності [9].

Об'єкти досліджень оцінюються (попарним порівнянням) за допомогою розробленої математичної матричної моделі із застосуванням множини критеріїв, обраних залежно від вирішуваних завдань і області проблем, і мають різні рівні деталізації. При застосуванні МАІ порівнюється відносна важливість кожного критерію з відносною важливістю будь-якого іншого критерію (елемента), який реалізується математичною матричною моделлю. Порівняння проводиться обчисленням власного вектора по рядках, обчисленням та нормалізацією вектора пріоритету. Для оцінки погодженості в МАІ використовуються індекс погодженості і відношення погодженості.

Завершальний етап МАІ – розрахунок паливо-енергетичного критерію різних палив:

$$K_{n-e} = \sum_{i=1}^{i=n} x_i \varphi_i, \quad (1)$$

де  $x_i$  – вектор пріоритету  $i$  – го оціночного критерію, отриманого при парному порівнянні відносної важливості критеріїв на другому рівні по відношенню до загальної мети на першому рівні;

$\varphi_i$  – вектор пріоритету  $i$  – го об'єкта досліджень, отриманого при парному порівнянні відносної важливості об'єктів досліджень на третьому рівні (парне порівняння об'єктів досліджень) по відношенню до критеріїв другого рівня.

Оцінку екологічних властивостей технологічних ТЗ, що працюють на альтернативних і базових видах палива доцільно проводити з врахуванням санітарних норм [10]. На першому етапі це виконується за критерієм ЕП екологічної пристосованості ДВЗ до альтернативних видів палива [10]

$$EP = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n (K_i)^{\alpha_i} = \frac{KHT}{KHT_6}, \quad (2)$$

де  $KHT$  – категорія небезпеки ТЗ, що працює на альтернативному паливі,  $m^3/c$ ;

$KHT_6$  – категорія небезпеки ТЗ, що працює на базовому паливі,  $m^3/c$ .

$$KHT = \sum_{i=1}^n KHD_i = \sum_{i=1}^n \left( \frac{M_i}{ГДК_i} \right)^{\alpha_i} \quad (3)$$

де  $K_{HD_i}$  – категорія небезпеки оіречовини,  $m^3/c$ ;

$M_i$  – кількість викидів оіречовини,  $г/с$ , значення яких отримані на основі даних про шляхові викиди ШР;

$ГДК_i$  – середньодобова гранично-допустима концентрація оіречовини,  $г/м^3$ ;

$\alpha_i$  – безрозмірна константа, що дозволяє співставити класи небезпеки оіречовини і діоксиду сірки (III клас небезпеки);

$n$  – кількість шкідливих речовин у ВГ.

На другому етапі визначається показник екологічної безпеки ТЗ, працюючого на альтернативному виді палива

$$K_{en} = EP \cdot K_6 \quad (4)$$

де  $K_6$  – показник екологічної небезпеки ТЗ, що працює на базовому виді палива.

Критерій екологічної безпеки

$$K_e = \frac{1}{K_{en}} \quad (5)$$

Економічна ефективність використання АМП оцінюється критерієм економічної ефективності

$$E = \frac{E_{e.6}}{K} \quad (6)$$

де  $K$  – капітальні витрати на переобладнання ТЗ для використання АМП;

$E_{e.6}$  – економія експлуатаційних витрат при використанні АМП.

Об'єднання окремих критеріїв в загальний критерій оптимального виду палива здійснюється наступним чином:

$$K = \varphi_1 K_{n-e} + \varphi_2 K_e + \varphi_3 E, \quad (7)$$

де  $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3$  – коефіцієнти вагомості показників технічної пристосованості двигуна до АМП, екологічної безпеки та економічної ефективності експлуатації технологічних ТЗ на різних паливах ( $\sum \varphi_i = 1$ ). Для оцінки вагомості окремих критеріїв були використані результати експертних оцінок, виконані в роботі [11]. Найбільшу значимість прийнято для критерію екологічної безпеки (0,38-0,42), дещо менші значення (0,28-0,32) матимуть паливо-енергетичний критерій та критерій економічної ефективності експлуатації.

Для визначення палива, яке має найкращі показники, при оцінюванні його властивостей, повинна виконуватись умова:  $K \Rightarrow \max$ .

**Результати досліджень.** Оціночними критеріями паливо-енергетичних властивостей є показники палив та показники двигуна, які наведені в таблиці 1: А1 – достатність ресурсів та можливість масового виробництва палива; А2 – енергетичні показники двигуна при роботі на даному паливі; А3 – детонаційна стійкість палив та схильність до самозаймання; А4 – ціна палива; А5 – питома

ефективна витрата палива двигуном в енергетичних одиницях; А6 – енергозатрати виробництва палива; А7 – безпечність застосування.

Результатирозрахунківпаливо-енергетичного критеріюрізних палив наводиться в табл. 1.

Таблиця 1 – Розрахунковізначенняпаливо-енергетичного критеріюрізних палив

	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	Паливо-енергетичний критерій
$\Sigma(x_i)$	0,14	0,14	0,14	0,11	0,16	0,15	0,16	
Дизельне паливо	0,26	0,4	0,24	0,27	0,25	0,27	0,36	0,29
Біодизель	0,43	0,34	0,34	0,27	0,32	0,33	0,36	0,34
Природний газ	0,31	0,25	0,42	0,46	0,43	0,38	0,28	0,36

Найвище значення паливо-енергетичного критерію має стиснутий природний газ (0,36). Вбіодизельного палива 0,34, а нафтового ДП 0,29.

Результати комплексної оцінки екологічної небезпеки ВГ трактора МТЗ-80 на основі категорії небезпеки КНТ за гранично допустимими концентраціями та класом небезпеки ШР наведено в таблиці 2.

Таблиця 2 – Категорія небезпеки ВГ колісного трактора при роботі його двигуна на різних паливах

Вид палива	Категорія небезпеки шкідливих речовин ВГ								Категорія небезпеки трактора (КНТ)	
	NO <sub>x</sub>		CO		CH		сажа			
	м <sup>3</sup> /с	%	м <sup>3</sup> /с	%	м <sup>3</sup> /с	%	м <sup>3</sup> /с	%	м <sup>3</sup> /с	%
Дизельне паливо	2789,1	87,8	9,1	0,29	1,9	0,06	377,5	11,9	3177,6	100
Природний газ	2599,8	98,7	15,1	0,57	17,4	0,66	-	-	2632,9	100
Біодизель	2694,1	89,8	12,8	0,42	4,5	0,15	288,2	9,6	2999,6	100

Категорія небезпеки трактора, працюючого на біодизелі в 1,11 рази менша, а на природному газі в 1,26 рази менша, ніж на дизельному паливі. Причому екологічна безпека відпрацьованих газів для всіх видів палива в середньому на 90% визначається небезпекою оксидів азоту NO<sub>x</sub>, вміст яких у ВГ за масою не дуже значний.

Наступним етапом було визначення рівня екологічної безпеки трактора МТЗ-80 при роботі на різних паливах за критерієм Ке(таблиця 3).

Таблиця 3 – Оцінка екологічної безпеки трактора МТЗ-80 при роботі на різних паливах

Вид палива	Показник екологічної безпеки Ке	Критерій екологічної безпеки Ке
Дизельне паливо	2,98	0,33
Природний газ	2,38	0,42
Біодизель	2,7	0,37

Результати розрахунку показників економічної ефективності зведені в табл. 4.

Таблиця 4 – Економічна ефективність експлуатації одного трактора на альтернативних паливах

№ п/п	Показник	Одиниця вимірюв.	Вид палива	
			Природний газ	Біодизель
1.	Капітальні витрати на переобладнання трактора для роботи на АМП	грн.	10892	3266
2.	Економія експлуатаційних витрат	грн.	7712,1	662,3
3.	Термін окупності	роки	1,41	4,9
4.	Річний економічний ефект від використання альтернативних палив	грн.	6078,3	177,3
5.	Критерій економічної ефективності	–	0,71	0,2

Експлуатація трактора МТЗ-80 в якості технологічного транспортного засобу на газовому паливі в порівнянні з дизельним паливом забезпечує річний економічний ефект 6078,3 грн., а термін окупності витрат на переобладнання для роботи на газі складає 1,41 року. При експлуатації на біодизельному паливі річний економічний ефект складе 177,3 грн., а термін окупності витрат на переобладнання 4,9 року.

В результаті досліджень встановлено, що найвище значення загального критерію вибору доцільного виду палива має природний газ у випадку його використання в переобладнаному з дизеля газовому двигуні, найменше значення в нафтового дизельного палива, в біодизельного палива. Результати розрахунків зведені в табл. 4

Таблиця 4 – Значення загального критерію вибору доцільного виду палива для трактора МТЗ-80, використовуюваного в якості технологічного транспорту

Паливо	Загальний критерій К вибору доцільного виду палива
Дизельне паливо	0,221
Природний газ	0,489
Біодизель	0,31

**Висновки.** Моделі представлення функціонування технологічних ТЗ, працюючих на альтернативних паливах, дозволили звести задачу вибору палива до оптимізації параметрів експлуатаційної системи «паливо-двигун-транспортний засіб» за паливо-енергетичним критерієм, критеріями екологічної безпеки та економічної ефективності експлуатації. Запропонована методика дозволяє оцінити показники транспортного засобу при його роботі на різних паливах за одним комплексним показником (загальним критерієм), що значно спрощує вибір палива.

**Список літератури:** 1. Марков В.А., Ефанов А.А., Девянин С.Н. Альтернативные топлива и методика оценки их экологических качеств//Грузовик. – 2007. – №6. – С. 27 – 34. 2. Патрахальцев Н.Н. Повышение экономических и экологических качеств двигателей внутреннего сгорания на основе применения альтернативных топлив. – М.:

РУДН, 2008. – 248 с. **3.** Использование альтернативных топлив в самоходной технике. Научно-информационный материал // М., Московский государственный агроинженерный университетим. В.П. Горячкина, 2010. –95 с. **4.** Максименко О.О. Технология улучшения состояния воздушной среды в помещениях ограниченного объема при работе в них двигателей внутреннего сгорания с жидкостными нейтрализаторами. Автореф. дис. канд. техн. наук. 05.20.01.– Рязань: РГСХА, 2006. – 20 с. **5.** Гавриш В.І. Забезпечення ефективного використання паливно-енергетичних ресурсів у аграрному секторі економіки: Монографія / В.І. Гавриш. – Миколаїв: МДАУ, 2007. – 283 с. **6.** Базаров Б.И. Работа поршневых двигателей на альтернативных видах топлива / Б.И. Базаров. – Ташкент: ТАДИ, 2001. –238с. **7.** Парсаданов И.В. Повышение качества и конкурентоспособности дизелей на основе комплексного топливно-экологического критерия. – Харьков: НТУ”ХПИ”. –2003. – 244с. **8.** Захарчук В.І. Методика підбору альтернативних моторних палив для транспортних засобів / В.І. Захарчук // Вісник НТУ, 2013. – №3. – С. 85–90. **9.** Саати Т. Принятиє рішень. Метод аналізу ієрархій / Т. Саати. – М.: Радио и связь, 1993. – 320 с. **10.** Цыцюра А.А., Дворников Г.П., Бондаренко Е.В. Оценка влияния автомобильного транспорта на качество воздушной среды Оренбуржья// Вестник ОГУ. – 2000. – №1, с. 47–49. **11.** Матейчик В.П. Методи оцінювання та способи підвищення екологічної безпеки дорожніх транспортних засобів: [Монографія] / В.П. Матейчик. – Київ: НТУ. – 2006. – 216 с.

**Bibliography (transliterated):** **1.** Markov, V.A., A.A. Efanov and, Devjanin S.N. Al'ternativnye topliva i metodika ocenki ihj ekologicheskikh kachestv. Gruzovik. No. 6. 2007.27–34. Print. **2.** Patrahal'cev N.N. Povyshenij ekonomicheskikh i jekologicheskikh kachestv dvigatelej vnutrennego sgoranija na osnove primenenija al'ternativnyh topliv. Moscow: RUDN, 2008. **3.** Ispol'zovanie al'ternativnih topliv v samohodnoj tehnikе. Nauchno-informacionnyj material / M.: Moskovskij gosudarstvennyj agroinzhenernyj universitetim. V.P.Gorjachkina, 2010. **4.** Maksimenko O.O. Tehnologija uluchshenija sostojanija vozdušnoj sredy v pomeshhenijah ogranichenogo obema pri rabote v nih dvigatelej vnutrenneg osgoranija s zhidkostnymi nejtralizatorami: avtoref. dis. Na zdobuttja nauk stupenja kand. tehn. nauk. Rjazan': RGSXA, 2006. **5.** Havrysh V.I. Zabezpechennya efektyvnogo vykorystannya palyvno-enerhetychnykh resursiv u ahrarnomu sektori ekonomiky: monohrafiya. Mykolayiv: MDAU, 2007. **6.** Bazarov B.I. Rabota porshnevnyh dvigatelej na al'ternativnyh vidah topliva. Tashkent: TADI, 2001. **7.** Parsadanov I.V. Povyshenie kachestva i konkurentosposobnosti dizelej na osnove kompleksnogo toplivno-jekologicheskogo kriterija. Kharkov: NTU ”HPI”, 2003. **8.** Zakharchuk V.I. "Metodyka pidboru al'ternatyvnykh motornykh palyv dlya transportnykh zasobiv." Visnyk NTU. No. 3. 2013. 85–90. Print. **9.** Saati T. Prinjatiereshenij. Metod analizaijerarhij. Moscow: Radio isvjaz', 1993. **10.** Cysura A.A. "Ocenka vlijanija avtomobil'nogo transporta na kachestvo vozdušnoj sredy Orenburzh'ja." Vestnik OGU. No. 1. 2000. 47–49. Print. **11.** Mateychyk V.P. Metody otsinyuvannya ta sposoby pidvyshchennya ekolohichnoyi bezpeky dorozhnykh transportnykh zasobiv: monohrafiya. Kiev: NTU, – 2006.

Надійшла (received) 27.02.2015