

УДК 621.43

В.І. Захарчук, О.В. Захарчук

Луцький національний технічний університет

ОЦІНКА АДАПТОВАНОСТІ ТЕХНІКИ ДО АЛЬТЕРНАТИВНИХ МОТОРНИХ ПАЛИВ

З використанням методу аналізу ієрархії виконана комплексна оцінка адаптованості технологічного транспортного засобу до альтернативних моторних палив на кожному рівні системи з ієрархічною структурою. Найбільше значення має критерій адаптованості використовуюваного в якості технологічного транспорту колісного трактора МТЗ-80 з двигуном Д-243 до нафтового дизельного палива (0,36). Критерій адаптованості системи до біодизельного палива становить 0,29, а до природного газу 0,29. Якісною перевагою методу аналізу ієрархії порівняно з усіма іншими є те, що він дозволяє повноцінно врахувати всі критерії до вибору оптимального варіанту.

Ключові слова: ієрархія, аналіз, адаптованість, альтернативні палива, технологічний транспорт

V. Zakharchuk, O. Zakharchuk**ADAPTABILITY RATING OF TECHNOLOGY TO ALTERNATIVE MOTOR FUELS**

The ability of using a certain type of alternative motor fuel (AMF) is determined by the sufficiency of its resources and the possibility of mass production, engine performance, energy consumption, environmental quality of fuel, fuel efficiency of the engine, safety of use. A certain amount of indicators of adaptability assessment are qualitative indicators, that's why, they are not expressed by numerical values; so for determine the adaptability of technology to AMP, it is necessary to choose a method that would allow such research to be performed. This method is a hierarchy analysis method that relates to the selection methods from a small number of multicriteria alternatives. Using the hierarchy analysis method, a comprehensive rating was made the adaptability of the technological vehicle to alternative motor fuels at each level of the system with a hierarchical structure. To do this, a pair of comparisons of estimated motor fuel performance and a dual comparison of the third-rate estimates are performed. The criterion of adaptability is defined as a generalized priority of a particular type of fuel. The greatest importance has adaptation of the wheeled tractor MTZ-80 with the D-243 engine to petroleum diesel (0.36) used as technological transport. The criterion for adapting the system to biodiesel is 0.3, and to the natural gas is 0.34. The qualitative advantage of the hierarchy analysis method is that it allows you to fully take into account all the indicators for choosing the optimal option.

Key words: hierarchy, analysis, adaptability, alternative fuels, technological transport

Постановка проблеми. В даній час перед людством стоять дві глобальні проблеми: світовий дефіцит нафти та забруднення навколишнього середовища викидами шкідливих речовин з відпрацьованими газами (ВГ) різних видів техніки. Суттєво вирішити ці проблеми можна використанням альтернативних моторних палив. Стосовно автотракторної техніки з дизелями, то на даний час пріоритет по АМП належить біопаливам на основі рослинних олій та газовому паливу [1].

Можливість застосування певного виду альтернативного моторного палива (АМП) визначається достатністю ресурсів та можливістю масового виробництва, енергетичними показниками двигуна, енерговитратами виробництва, екологічними якість палив, паливною економічністю двигуна, безпечністю застосування. Певна кількість показників оцінки адаптованості є якісними показниками, тобто не виражена числовими значеннями, тому для визначення адаптованості техніки до АМП потрібно вибрати метод, який дозволив би виконати таке дослідження.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. До перспективних методів досліджень властивостей технічних об'єктів можна віднести моделі нечіткої логіки, метод кінцевих елементів, моделі на основі штучних нейронних мереж, метод аналізу ієрархій.

Якщо в звичайних математичних моделях технічних об'єктів вся інформація проходить обробку в одному або декількох каналах, то в штучних нейронних мережах вся інформація передається через велику кількість каналів (нейронів). В кожному з каналів інформація може затримуватись або перетворюватись и додаючись, поступати на вихід. Хоч в кожному окремому нейроні відбувається найпростіше перетворення інформації, в підсумку на виході можна отримати досить складні багатопараметричні функціональні залежності. Однією з особливостей подібних моделей є їх здатність навчатися. За допомогою математичного апарату інформацію, отриману на основі експериментів або в процесі роботи об'єкта, можна сформулювати і навчити нейронну мережу, побудувавши достатньо точну модель об'єкта. Цей метод все частіше застосовують в наукових дослідженнях. Зокрема, в роботі [2] з його застосуванням виконана розробка системи керування складом суміші бензинового двигуна, а в роботі [3] виконана оптимізація конструктивних і регулювальних параметрів дизеля з метою зниження токсичності відпрацьованих газів.

Під час моделювання в умовах неповної інформації, особливо коли точна модель виявляється надто складною або її отримання практично неможливе, побудову моделей ведуть на основі теорії нечітких множин. В теорії чітких множин якщо елемент множини задовольняє певній властивості, то характеристична функція приймає значення 1, а якщо не задовольняє, то 0. Такий підхід реалізується в системі рахування звичайного процесора комп'ютера. В нечітких множинах характеристична функція може приймати любі значення від 0 до 1. Застосування нечіткої логіки ефективно при побудові систем керування і діагностичних систем. Зокрема, в роботі [4] на основі цього методу виконана розробка системи діагностики двигуна.

Спільне використання нечіткої логіки і штучних нейронних мереж дозволяє будувати системи, здатні до навчання, наприклад, системи автоматичного керування двигуном з врахуванням технічного стану автомобіля. Розглянуті методи є досить складними в застосуванні та не дозволяють виконати дослідження показників, які не виражені числовими значеннями. Придатними для цього методом є метод аналізу ієрархій [5], який до цього, в основному, застосовувався в економічних дослідженнях.

Мета і постановка задачі дослідження. Метою роботи є визначення критерію адаптованості колісного трактора МТЗ-80 до альтернативних моторних палив.

Матеріали та методи досліджень. Для визначення критерію адаптованості системи до різних палив розроблена методика на основі методу аналізу ієрархій (МАІ) Т.Сааті. За допомогою МАІ можна вирішувати завдання багатокритеріальної оптимізації з досить великою кількістю критеріїв оптимальності.

МАІ, як метод системного аналізу, дозволяє здійснити ієрархічне представлення складових елементів системи (рис. 1). Кожний рівень (етап) або підрівень (підетап) ієрархічної структури має свої оціночні показники (ОП) з енергетичними, екологічними, економічними, функціональними та іншими критеріями, які є складовими елементами системи. Так на рівні 2 розміщені показники оцінки палив та двигунів, а на рівні 3 – об'єкти досліджень [6].

В основі МАІ лежать принципи: декомпозиції (структурування проблеми в ієрархічну систему більш простих завдань); парних порівнянь (порівняння всіх можливих комбінацій за результатами визначених пріоритетів або вагових коефіцієнтів); ієрархічної композиції (визначення пріоритету кожної групи на кожному рівні ієрархії).

Для досліджуваної проблеми у відповідності з принципом ідентичності та декомпозиції ієрархічне представлення завдання можна ілюструвати поетапно (рис. 1).

Об'єкти досліджень оцінюються попарним порівнянням за допомогою розробленої математичної матричної моделі із застосуванням множини критеріїв, обраних залежно від вирішуваних завдань і мають різні рівні деталізації.



Рис. 1. – Структура ієрархії підсистем «паливо» і «двигун»

При застосуванні МАІ порівнюється відносна важливість кожного критерію з відносною важливістю будь-якого іншого критерію, який реалізується математичною матричною моделлю (рис. 2). Порівняння проводиться обчисленням власного вектора по рядках, обчисленням та нормалізацією вектора пріоритету.

Матриця парних порівнянь показників					Обчислення власного вектора по рядках	Обчислення і нормалізація вектора пріоритету
A_1	ω_1/ω_1	ω_1/ω_2	ω_1/ω_3	ω_1/ω_4	$\sqrt[4]{\omega_1/\omega_1 \cdot \omega_1/\omega_2 \cdot \omega_1/\omega_3 \cdot \omega_1/\omega_4} = a$	$a/\sum_n = x_1$
A_2	ω_2/ω_1	ω_2/ω_2	ω_2/ω_3	ω_2/ω_4	$\sqrt[4]{\omega_2/\omega_1 \cdot \omega_2/\omega_2 \cdot \omega_2/\omega_3 \cdot \omega_2/\omega_4} = b$	$b/\sum_n = x_2$
A_3	ω_3/ω_1	ω_3/ω_2	ω_3/ω_3	ω_3/ω_4	$\sqrt[4]{\omega_3/\omega_1 \cdot \omega_3/\omega_2 \cdot \omega_3/\omega_3 \cdot \omega_3/\omega_4} = c$	$c/\sum_n = x_3$
A_4	ω_4/ω_1	ω_4/ω_2	ω_4/ω_3	ω_4/ω_4	$\sqrt[4]{\omega_4/\omega_1 \cdot \omega_4/\omega_2 \cdot \omega_4/\omega_3 \cdot \omega_4/\omega_4} = d$	$d/\sum_n = x_4$
	\sum_1	\sum_2	\sum_3	\sum_4	\sum_n	$\sum_n \approx 1.0$

Рис. 2. – Матриця парних порівнянь показників, розрахунок власних векторів, обчислення і нормалізація вектора пріоритету

На рис. 2: $A_1, A_2, A_3, \dots, A_n$ – множина з n критеріїв і $\omega_1, \omega_2, \omega_3, \dots, \omega_n$ – відповідно їх відносні важливості.

Реалізація МАІ починається з другого рівня вниз (рис. 1): складаються матриці парних порівнянь для кожного з рівнів (рис. 2) і т.д. Наступні пріоритети (числові значення відносної важливості) множаться на пріоритет відповідного критерію на вищому рівні і підсумовуються по кожному елементу (альтернативи рішень) відповідно до критеріїв, на які впливає цей елемент. Зазначена процедура триває до самого останнього рівня розробленої ієрархії.

Для оцінки погодженості в МАІ використовуються індекс погодженості (ІП) і відношення погодженості (ВП).

Далі формується матриця парних порівнянь третього рівня, для якої (беручи до уваги її структуру) вибираються нові оціночні показники.

Заключний етап МАІ – розрахунок критерію адаптованості системи до різних палив:

$$K_a = \sum_{i=1}^{i=n} x_i \phi_i, \quad (1)$$

де x_i – вектор пріоритету i – оціночного критерію, отриманого при парному порівнянні відносної важливості критеріїв на другому рівні (рис. 1) по відношенню до загальної мети на першому рівні;

ϕ_i – вектор пріоритету i – об'єкта досліджень, отриманого при парному порівнянні відносної важливості об'єктів дослідження на третьому рівні.

Результати досліджень. Під час визначення адаптованості системи до АМП попередньо оцінюється технічна пристосованість ДВЗ до АМП за енергетичними та паливо-економічними показниками двигуна під час його роботи на даному альтернативному паливі (ефективна потужність двигуна, ефективний крутний момент та питома ефективна витрата палива), на величину яких впливає нижча теплота згоряння та інші показники палива.

Проведемо оцінку перспективності їх використання на прикладі колісного трактора МТЗ-80, який є найпоширенішим засобом технологічного транспорту в сільському господарстві та промисловості.

Технічна пристосованість трактора до різних видів палива оцінювалась за зміною його експлуатаційних параметрів. Необхідні для оцінки дані були отримані нами в ході експериментальних досліджень [7].

Так, перехід з нафтового дизельного палива на біодизельне паливо супроводжується зростанням питомої ефективної витрати палива, зменшенням ефективної потужності та крутного моменту. Перехід з дизельного палива на природний газ супроводжується зростанням ефективної витрати палива та деяким збільшенням потужності та крутного моменту. Таким чином, двигун Д-243 з позиції тягово-швидкісних властивостей трактора та паливної економічності пристосований до природного газу та мало пристосований до біодизельного палива.

Оціночні показники традиційного та альтернативних моторних палив, які застосовуються в дизелях, наведені в таблиці 1.

Аналіз даних табл. 1 дозволяє зробити наступні висновки: нижча теплота згоряння палив впливає на теплоту згоряння паливо-повітряної суміші, а чим більшою є теплота згоряння суміші, тим більша потужність двигуна [8]. Екологічні якості палив залежать від їх елементарного складу і певною мірою оцінюються співвідношенням С/Н (водневим числом). Зокрема, в нафтового дизельного палива С/Н = 0,145, а в природного газу 0,316, тобто є більшим, ніж в два рази. В той же час сумарна токсичність газового двигуна, приведена до оксиду вуглецю, за 13-и режимним випробувальним циклом є в 1,9 рази меншою у порівнянні з сумарною токсичністю базового дизеля. Тобто результати оцінки є близькими. Що стосується біодизельних палив, в яких значно більший вміст кисню (в межах 10 %) у порівнянні з іншими паливами, то це призводить до більшої повноти згоряння палив і як наслідок до значного зменшення вмісту сажі у ВГ. Ціна палив впливає на економічну ефективність експлуатації автотракторної техніки.

Як видно з табл. 1, певна кількість показників оцінки моторних палив не виражена числовими значеннями, тому для визначення адаптованості системи до АМП вибрано саме метод аналізу ієрархій.

Таблиця 1

Оціночні показники моторних палив

Показник	Паливо		
	ДП	БДП	ПГ
Достатність ресурсів та можливість масового виробництва	-	+/-	-
Нижча теплота згоряння МДж/кг (МДж/м ³)	42,5	38,3	38
Детонаційна стійкість (октанове число) або схильність до самозаймання (цетанове число)	45	49	100-125
Ціна, грн./л (грн./м ³) за даними поч. 2015 р.	16,5	15,5	8
Екологічні якості (вплив на навколишнє середовище)	-	+	+/-
Енерговитрати виробництва	-	+	+
Безпечність застосування	+/-	+	+/-
Прим. «+» – наявність переваг у порівнянні із дизельним нафтовим паливом; «-» – відсутність переваг у порівнянні із дизельним нафтовим паливом; «+/-» – поєднання переваг та недоліків.			

Парне порівняння оціночних показників другого рівня виконано в табл. 2, при цьому враховані показники табл. 2. Режим функціонування системи – рух трактора за прийнятим їздовим циклом з номінальним навантаженням.

Таблиця 2

Парне порівняння оціночних показників моторних палив

Критерії оцінки	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	Вектор пріоритету (x_i)
A1	1	1/5	6	4	1/7	1/6	1/6	0.14
A2	5	1	1/3	6	1/2	1/4	1/5	0.14
A3	1/6	3	1	3	5	1/4	1/3	0.14
A4	1/4	1/6	1/3	1	1/6	1/3	1/4	0.11
A5	7	2	5	6	1	5	1/2	0.16
A6	6	4	4	3	1/5	1	1/5	0.15
A7	6	5	3	4	2	5	1	0.16
Σx_i	25,42	15,37	19,66	27	9,01	12	2,65	$\Sigma_n \approx 1.0$

Оціночними критеріями другого рівня є показники паливо-енергетичних властивостей, які наведені в таблиці 2:

- A1 – достатність ресурсів та можливість масового виробництва;
- A2 – енергетичні показники двигуна при роботі на даному паливі;
- A3 – детонаційна стійкість або схильність до самозаймання;
- A4 – ціна;
- A5 – екологічні якості палива (вплив на навколишнє середовище);
- A6 – паливна економічність двигуна;
- A7 – безпечність застосування.

Парне порівняння оціночних показників третього рівня виконане в табл. 3.

Для узагальненого пріоритету стовпчик векторів множиться на пріоритет відповідного критерію і результат додається по кожному рядку. Виходить узагальнений пріоритет певного виду порівнюваного палива (об'єкта досліджень). Ці дані доводять, що характер і кількість факторів (ознак) у цілому залежать від мети та завдань прийнятого рішення, тобто один і той же об'єкт може бути охарактеризований різними факторами або однакові фактори можуть мати різну значимість при різних ситуаціях. Результати розрахунків критерію адаптованості системи з двигуном Д-243 до різних палив наводиться в табл. 4.

Таблиця 3

Парне порівняння оціночних показників третього рівня

Достатність ресурсів та можливість масового виробництва палива (A1)	1	2	3	Вектор пріоритетів	
	ДП	БДП	ПГ		
1	2	3	4	5	
1	1,00	0,33	0,50	0,26	$\lambda_{\max}=5,02$
2	3,00	1,00	4,00	0,43	ІІІ=1,01
3	2,00	0,25	1,00	0,31	ВІІ=2,34
Енергетичні показники двигуна при роботі на даному паливі (A2)	1	2	3	Вектор пріоритетів	
1	1,00	3,00	3,00	0,40	$\lambda_{\max}=4,29$
2	0,33	1,00	3,00	0,34	ІІІ=0,64
3	0,33	0,33	1,00	0,25	ВІІ=1,89
Детонаційна стійкість палив або схильність до самозаймання (A3)	1	2	3	Вектор пріоритетів	
1	1,00	0,33	0,20	0,24	$\lambda_{\max}=4,03$
2	3,00	1,00	0,50	0,34	ІІІ=0,51
3	5,00	2,00	1,00	0,42	ВІІ=1,22
Ціна палива (A4)	1	2	3	Вектор пріоритетів	
1	1,00	1,00	0,20	0,27	$\lambda_{\max}=4,00$
2	1,00	1,00	0,20	0,27	ІІІ=4,00
3	5,00	5,00	1,00	0,46	ВІІ=1,96
Питома ефективна витрата палива двигуном в енергетичних одиницях (A5)	1	2	3	Вектор пріоритетів	
1	1,00	0,50	0,17	0,25	$\lambda_{\max}=4,20$
2	2,00	1,00	0,50	0,32	ІІІ=0,60
3	6,00	2,00	1,00	0,43	ВІІ=1,20
Енергозатрати виробництва (A7)	1	2	3	Вектор пріоритетів	
1	1,00	0,50	0,33	0,27	$\lambda_{\max}=4,06$
2	2,00	1,00	0,50	0,33	ІІІ=0,53
3	3,00	2,00	1,00	0,38	ВІІ=1,06
Безпечність застосування (A7)	1	2	3	Вектор пріоритетів	
1	1,00	1,00	2,00	0,36	$\lambda_{\max}=4,00$
2	1,00	1,00	2,00	0,36	ІІІ=0,50
3	0,50	0,50	1,00	0,28	ВІІ=1,00

Отже, найкраще значення при використанні в переобладнаному з дизеля газовому двигуні з іскровим запалюванням має критерій адаптованості системи з двигуном Д-243 до природного газу (ПГ), який є узагальненим пріоритетом його експлуатаційних властивостей.

Таблиця 4

Розрахункові значення критерію адаптованості системи з двигуном Д-243 до різних палив при їх використанні в тракторі МТЗ-80

Номери критеріїв	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	Критерій адаптованості
Вектори пріоритетів $\Sigma(x_i)$	0,14	0,14	0,14	0,11	0,16	0,15	0,16	
Біодизельне паливо	0,26	0,4	0,24	0,27	0,25	0,27	0,36	0,30
Природний газ	0,43	0,34	0,34	0,27	0,32	0,33	0,36	0,34
Нафтове дизельне паливо	0,31	0,25	0,42	0,46	0,43	0,38	0,28	0,36
							$\Sigma=$	1,00

Висновки. З використанням МАІ, виконана комплексна оцінка адаптованості системи «паливо-двигун-транспортний засіб» до АМП при їх використанні в тракторі МТЗ-80, використовуваному в якості технологічного транспорту, на кожному рівні системи з ієрархічною структурою. Найбільше значення має критерій адаптованості системи з двигуном Д-243 до нафтового дизельного палива (0,36). Критерій адаптованості системи до біодизельного палива 0,3, а до природного газу 0,29.

Література.

1. Nylund N. Pathways for natural gas into advanced vehicles / N. Nylund, J. Laurikko, M. Ikonen. – Brussel: IANGV. – 2002. – 105 p.
2. Босяков В.П. Оптимизация конструктивных и регулировочных параметров дизеля с помощью искусственной нейронной сети / В.П. Босяков, В.С. Кукис, В.А. Сеницын // Вестник УГАТУ. – Уфа, 2011. - № 6. – с.94–99.
3. Смирнов А.Б. Разработка системы управления составом смеси бензинового двигателя с применением искусственной нейронной сети / А.Б. Смирнов // Известия ВУЗов Машиностроение. – М.: МГТУ им Н.Э. Баумана. – 2006. – № 6. – с. 37–40.
4. Палагута К.А. Идентификация экспериментальных данных с помощью нечеткой логики / К.А. Палагута // Техника, технологии и перспективные материалы. М.: МГИУ. – 2005. - № 2. – с. 221-226.
5. Черныш О. А. Системный анализ прикладных задач многокритериальной оптимизации методом анализа иерархий / О. А. Черныш, И. В. Лисовая, И. В. Мишарин // Проблемы информатизации та управління: Зб. наук. пр. – К.: НАУ, 2007. – Вип. 3(21). – С. 99–103.
6. Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий / Т. Саати. – М.: Радио и связь, 1993. – 320 с.
7. Захарчук В.І. Оцінка показників двигуна при його роботі на альтернативних паливах / В.І. Захарчук, Ю.В. Захарчук // Наукові нотатки: міжвузівський збірник. – 2014. – Вип. 45. – С. 204–209.
8. Захарчук В.І. Оцінка перспективності застосування альтернативних палив в технологічних транспортних засобах / В.І. Захарчук // Вісник НТУ «ХП». – 2015. – №8 (1117). – С. 76–81.