

ОЦІНКА ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ПОКАЗНИКІВ МОТОРНИХ ПАЛИВ МЕТОДОМ АНАЛІЗУ ІЄРАРХІЙ

З використанням методу аналізу ієрархій та розробленої математичної матричної моделі виконана комплексна оцінка експлуатаційних показників альтернативних моторних палив на кожному рівні системи з ієрархічною структурою. Найвище значення глобального пріоритету має стиснутий природний газ.

Ключові слова: альтернативні палива, аналіз, матрична модель.

Вступ. Запаси нафти на планеті з кожним роком зменшуються і вартість палив нафтового походження буде весь час зростати. Тому людство змушене шукати альтернативні палива, які, крім всього іншого, мають значний резерв покращення екологічних показників техніки.

Аналіз публікацій. 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. Стосовно автотракторної техніки по АМП пріоритет належить біопаливам на основі рослинних олій та газовому паливу. Природний газ в два рази дешевший за нафтове дизельне паливо. Але для роботи на ньому необхідне переобладнання дизеля. Для роботи на біодизельному паливі зміни в конструкції двигуна не потрібні, але його вартість є більшою за традиційне паливо [1, 2, 3]. Переведення транспортних засобів (ТЗ), які знаходяться в експлуатації, на альтернативні палива призводить до зміни ряду їх експлуатаційних якостей.

Постановка проблеми. Застосування альтернативних палив неоднозначно впливає на масові, габаритні, тягово-швидкісні, економічні та екологічні показники ТЗ, тому потребує всебічної оцінки доцільності їх використання. В цій предметній області вітчизняними та зарубіжними вченими досліджено та отримано вагомі результати з широкого кола окремих аспектів проблеми. Але на даний час відсутні комплексні дослідження системи «паливо-двигун-транспортний засіб», які з системних позицій дозволили б розробити наукові методи та інженерні методики оцінки впливу використовуваного палива на енергетичні, екологічні та економічні показники транспорту.

Викладення основного матеріалу. Для порівняння експлуатаційних властивостей нафтового дизельного палива, біодизельного палива та стиснутого природного газу (СПГ) застосований метод аналізу ієрархій [4] Т.Сааті (МАІ). За допомогою МАІ можна вирішувати завдання багатокритеріальної оптимізації з досить великою кількістю критеріїв оптимальності [5].

Практичне використання МАІ обумовлене наявністю таких переваг:

1. Забезпечується реалізація найбільш ефективного способу оцінки кількісно невимірних, але разом з тим важливих факторів для прийняття обґрунтованих рішень;
2. Дослідження складних проблем зводиться до досить простої процедури проведення послідовно попарних порівнянь;
3. Оцінюється важливість врахування кожного рішення й важливість врахування кожного фактора, що впливає на пріоритети рішень;
4. Простота в реалізації, не потрібно значних фінансових і часових ресурсів на проведення необхідних розрахунків;
5. Можливість вирішувати завдання з великою кількістю критеріїв;
6. Враховується «людський фактор» при підготовці прийняття рішення.

Метод аналізу ієрархій, 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 ін. критеріями, які являються складовими елементами системи.

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

Об'єкти досліджень оцінюються (попарним порівнянням) за допомогою розробленої математичної матричної моделі із застосуванням множини критеріїв (факторів, ознак, характеристик, параметрів, змінних та ін.), обраних залежно від вирішуваних завдань і області проблем, і мають різні рівні деталізації. З одного боку рівень деталізації оціночних критеріїв (ОК) об'єкта дослідження підвищує достовірність результатів оцінки, а з іншого - забезпечує ідентичність даних, одержуваних різними дослідниками.

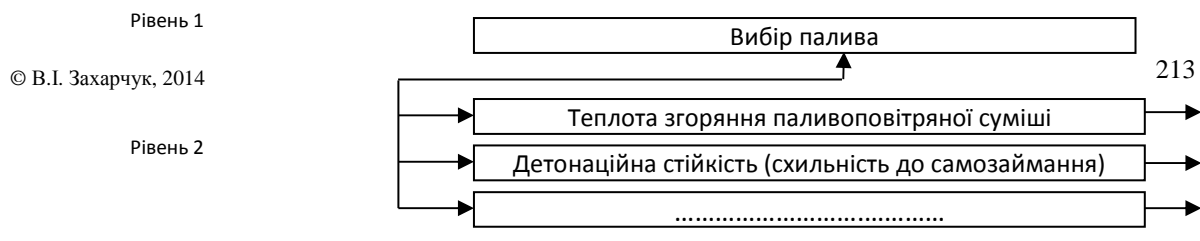


Рис. 1. Структура ієрархії рівня (етапу) «Паливо»

Згідно з даними попередніх досліджень, головними відмінними особливостями розробки ОК є:

- наявність зв'язку між критеріями і метою (призначенням) рівня;
- характеристика якісних і кількісних порівнюваних варіантів рішень;
- наявність узагальнюючих форм, зручних для непрямої оцінки об'єктів досліджень;
- інформація про критерії, яка надається у формалізованому вигляді (функціональні залежності, коефіцієнти, графіки, таблиці тощо) з конкретними числовими параметрами.

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

Реалізація МАІ починається з другого рівня вниз. 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. За даним порядком кожен елемент другого рівня множиться на одиницю, тобто на числове значення відносної важливості (вага) мети першого рівня ієрархії. Зазначена процедура триває до самого останнього рівня розробленої системи ієрархії.

$A_1, A_2, A_3, \dots, A_n$ – множина з n елементів (критеріїв) і $\omega_1, \omega_2, \omega_3, \dots, \omega_n$ – відповідно їх відносні важливості (вага, інтенсивність).

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

Рис. 2. Розрахунок власних векторів, обчислення і нормалізація вектора пріоритету

Матриці попарних порівнянь для другого рівня ієрархії з ОК і значеннями відносної важливості складається, виходячи з результатів проведених теоретичних та експериментальних досліджень порівнюваних об'єктів (табл. 2). Для третього рівня ієрархії (табл. 3) також складаються матриці попарних порівнянь, що показують ефективність застосування порівнюваних об'єктів по відношенню до критеріїв другого рівня. В табл. 3 введено такі позначення: 1 – нафтове ДП, 2 – біодизель, 3 – СПГ.

Для оцінки погодженості в МАІ використовуються індекс погодженості (ІП) і відношення погодженості (ВП). Індекс погодженості – кількісна оцінка суперечливості результатів порівнянь (для системи в цілому, для вузлів одного кластера або для кластерів, що мають загальну вершину). ІП не залежить від шкал порівнянь, але залежить від кількості парних порівнянь. Чим менше протиріч у порівняннях, тим менше значення індексу погодженості. При використанні способу порівнянь із еталоном значення індексу погодженості дорівнює нулю. Відношення погодженості – відношення індексу погодженості до середньостатистичного значення індексу погодженості при випадковому виборі коефіцієнтів матриці порівнянь.

Наступний етап МАІ – розрахунок узагальнених (глобальних) пріоритетів порівнюваних об'єктів:

$$n_i = \sum_{i=1}^{i=n} x_i \varphi_i, \quad (4)$$

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, φ_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.

Для проведення суб'єктивних парних порівнянь експлуатаційних показників палив використовується шкала відносної важливості Т.Саати [4].

Попередньо виконане класифікаційне технологічно-експлуатаційне порівняння показників альтернативних палив (табл. 1) на основі даних, отриманих автором роботи та іншими авторами.

Таблиця 1

Класифікаційне технологічно-експлуатаційне порівняння показників альтернативних моторних палив

№ з/п	Альтернативне паливо	Покращувані експлуатаційні показники	Показники, обмежуючі застосування	Показники для додаткових досліджень
1.	Природний газ	Ресурсні, екологічні	Теплова напруженість деталей двигуна, зменшення вантажопідйомності транспортного засобу	Екологічні показники при застосуванні нейтралізаторів ВГ
2.	Біодизельне паливо	Вміст сірки, екологічні, ресурсні, схильність до самозаймання	Вартість, в'язкість, нижча температура згорання	Витрати на ТО і ремонт, тривалість зберігання

Таблиця 2

Парне порівняння оціночних показників другого рівня

Критерій 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	$\Sigma_{i=1}^n 1.0$

Оціночними критеріями другого рівня є показники палив, які наведені в таблиці 2:

A1 – достатність ресурсів та можливість масового виробництва;

A2 – температура згорання паливоповітряної суміші;

A3 – детонаційна стійкість та схильність до самозаймання;

A4 – вартість;

A5 – екологічні якості палив (вплив на навколишнє середовище);

A6 – енергозатрати виробництва;

A7 – безпечність застосування.

Таблиця 3

Парне порівняння оціночних показників третього рівня

A1	1 ДП	2 БДП	3 СПГ	Вектор пріоритетів	
1	1,00	0,33	0,50	0,26	$\lambda_{\max} = 5,02$
2	3,00	1,00	4,00	0,43	$PI = 1,01$
3	2,00	0,25	1,00	0,31	$VI = 2,34$
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	$PI = 0,64$

3	0,33	0,33	1,00	0,25	ВП = 1,89
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	ВП = 1,22
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	ВП = 1,96
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	ВП = 1,20
A6	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	ВП = 1,06
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	ВП = 1,00

Для визначення 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 (система, явище) може бути охарактеризований різними факторами або однакові фактори можуть мати різні значущості при різних ситуаціях. Результати розрахунків глобальних пріоритетів експлуатаційних показників різних палив наводяться в таблиці 4.

Таблиця 4

Розрахункові значення глобальних пріоритетів різних палив

Номери критеріїв	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	Узагальнено
Вектори пріоритетів Σ (xі)	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	0,30
Біодизельне паливо	0,43	0,34	0,34	0,27	0,32	0,33	0,36	0,34
СПГ	0,31	0,25	0,42	0,46	0,43	0,38	0,28	0,36
							$\Sigma =$	1,00

Отже, найкраще значення має узагальнений пріоритет експлуатаційних властивостей стиснутого природного газу (СПГ).

Висновок. З використанням методу аналізу ієрархій визначено паливо з найкращими експлуатаційними показниками. Застосування даного методу дозволило одночасно порівняти значну кількість експлуатаційних показників різних видів палив.

Список використаної літератури:

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. Патрахальцев Н.Н. Повышение экономических и экологических качеств двигателей внутреннего сгорания на основе применения альтернативных топлив / Н.Н. Патрахальцев. – М. : РУДН, 2008. – 248 с.
3. Использование альтернативных топлив в автомобильной технике : научно-информ. материал. – М. : Московский гос. агроинженерный ун-т им. В.П. Горячкина, 2010. – 95 с.
4. Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иєрархий / Т.Саати. – М. : Радио и связь, 1993. – 320 с.
5. Базаров Б.И. Работа поршневых двигателей на альтернативных видах топлива / Б.И. Базаров. – Ташкент : ТАДИ, 2001. – 238 с.

ЗАХАРЧУК Віктор Іванович – кандидат технічних наук, доцент кафедри автомобілів і транспортних технологій Луцького національного технічного університету.

Наукові інтереси:

– показники двигунів та транспортних засобів при їх роботі на альтернативних паливах.
Тел.: (068)58-42-171.

Стаття надійшла до редакції 13.08.2014