

## ДО БАГАТОФАКТОРНОЇ МОДЕЛІ ПОРІВНЯННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ПОКАЗНИКІВ АВТОПОЇЗДІВ

**В.П. Сахно, професор, д.т.н., НТУ, О.П. Сакно, к.т.н.,  
О.В. Лисий, В.В. Клименко, с.н.с., к.т.н., Військова академія м. Одеса**

***Анотація.** Запропоновано універсальну модель техніко-економічного порівняння різних марок автопоїздів на основі визначення їх інтегрального експлуатаційного показника за сукупністю шістнадцяти основних експлуатаційних показників. Багатофакторна модель порівняння експлуатаційних показників автопоїздів враховує результати оцінки основних показників, що враховуються в процесі експлуатації.*

***Ключові слова:** автопоїзд, експлуатаційні показники, графоаналітичний метод, порівняння.*

## К МНОГОФАКТОРНОЙ МОДЕЛИ СРАВНЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ АВТОПОЕЗДОВ

**В.П. Сахно, професор, д.т.н., НТУ, О.П. Сакно, к.т.н., А.В. Лысий,  
В.В. Клименко, с.н.с., к.т.н., Военная академия г. Одесса**

***Аннотация.** Предложена универсальная модель технико-экономического сравнения различных марок автопоездов на основе определения их интегрального эксплуатационного показателя по совокупности шестнадцати основных эксплуатационных показателей. Многофакторная модель сравнения эксплуатационных показателей автопоездов учитывает результаты оценки основных показателей, учитываемых в процессе эксплуатации.*

***Ключевые слова:** автопоезд, эксплуатационные показатели, графоаналитический метод, сравнение.*

## TOWARDS THE MULTIFACTOR MODEL OF THE COMPARISON OF PLANT-PERFORMANCE FIGURES OF LORRY CONVOYS

**V. Sakhno, professor, dr. eng. sc., National Transport University,  
O. Sakno, cand. eng. sc., O. Lysyi, V. Klimenko, cand. eng. sc.,  
Military Academy, Odessa**

***Abstract.** The universal model of technical-and-economic comparison of various makes of lorry convoys based on the definition of their integral operating factor on the basis of sixteen main operating factors is suggested. The multifactor model comparison operating factor of lorry convoys takes into account the results of the evaluation of the main factors considered in the operational process.*

***Key words:** lorry convoy, plant-performance figure, grapho-analytical method, comparison.*

### Вступ

Підвищення вимог до безпеки руху з впровадженням сучасних досягнень вітчизняної і світової науки для ефективного використан-

ня засобів транспорту – одна з головних стратегій розвитку автомобілебудування. Її реалізація під час експлуатації автомобілів зумовлена необхідністю проводити обслуговування за їх технічним станом, об'єктивно

нормувати і прогнозувати їхній ресурс. Це дозволяє підвищити ефективність експлуатації і зменшити собівартість транспортних робіт. Ефективність, як ступінь реалізації ресурсів, на прикладі автопоїздів з тягачами характеризується показниками: використання ресурсів автомобілів – продуктивності, потужності, вантажопідйомності, фонду робочого часу; економічності; безпеки; екологічності.

При цьому необхідні відповідні методи і ефективні методики для об'єктивного порівняння різних марок автопоїздів.

### Аналіз публікацій

На думку провідних вчених таких як М.Я. Говорушенко, В.М. Варфоломєєв, І.М. Аринін, В.В. Рудзінський, В.П. Волков, А.Т. Лебедев та інші необхідно розробляти засоби для технічного обслуговування (ТО) для сучасних вимог до технічного стану автомобілів, що дозволять підвищити їх ефективність використання ресурсу.

На даний час відомі методи, моделі та методики дають можливість приймати узгоджене рішення при порівнянні деяких марок автопоїздів за множиною показників їх якості, тобто методи розв'язання багатокритеріальних задач [1-3].

В багатьох задачах може ставитися задача одночасного врахування не одного, а кількох критеріїв експлуатаційних показників.

Тоді згідно з існуючим методом [4] спочатку задача розв'язується для кожного з критеріїв окремо, а потім початкова математична модель ускладнюється з урахуванням інтегрованих показників.

### Мета та постановка задачі

**Мета роботи** є реалізація графоаналітичної методики на основі модифікації та нормування експлуатаційних показників автопоїздів. Розглядається графоаналітичний метод розв'язання багатокритеріальної задачі, результат якої може бути спрямований до вибору за максимальним інтегрованим показником.

Перевагою даного графоаналітичного методу є більш чітке графоаналітичне уявлення на-

прямків розрахунків. Одержуються кількісні експрес-оцінки інтегральної якості кожної марки автопоїзда під час порівняння. Ця оцінка необхідна для ефективного використання автопоїздів.

### Основний матеріал

Графоаналітичний метод містить декілька етапів одержання інтегральної оцінки різних марок автопоїздів, що порівнюються. Це сприятиме важливому для практики кількісному порівнянню інтегральної якості існуючих марок автопоїздів з еталомом. Аналізуються такі властивості: вантажопідйомність, маневреність, прохідність та ін.

Аналіз експлуатації вантажних автопоїздів з тягачами марок DAF і Volvo TOB «Зенал» (м. Одеса) у процесі перевезення вантажів по Україні показав досить низьку ефективність їх використання [5]. Ці автопоїзда добре зарекомендували себе при вантажоперевезеннях на будь-які відстані й при будь-якій якості доріг, що особливо важливо для України.

На першому місці, на думку TOB «Зенал», причина відмови основних елементів – природний знос, але ресурс можна збільшити завдяки високому рівню своєчасних технічних впливів. Необхідно провести аналіз, щоб дозволив враховувати зміни експлуатаційних показників при експлуатації автопоїзда.

Окремі експлуатаційні показники автопоїздів Volvo FH12.420, DAF XF 95.430, Volvo FH12 D12D420, Scania P124LB4x2NA420 доцільно змістовно було об'єднано в чотири наступні групи з чотирьох параметрів (табл. 1).

#### I. Показники ефективності:

- максимальна швидкість;
- потужність двигуна;
- число обертів двигуна при  $M_{max}$ ;
- вантажопідйомність.

#### II. Показники прохідності:

- ширина шини;
- дорожній просвіт;
- максимальний крутильний момент;
- кут підйому, що долає автопоїзд.

Таблиця 1 Технічна характеристика автопоїздів і еталонна сукупність показників якості

Оновні параметри автопоїздів	Volvo FH12.420	DAF XF 95.430	Volvo FH12 D12D420	Scania P124LB4x2 NA420	Еталон автопоїзда
1 група показників ефективності зразків автопоїздів					
Максимальна швидкість, км/год	90	90	88	80	90
Потужність двигуна, лс	420	428	420	420	428
Число обертів двигуна при Mmax, об/мин	1200	1900	1080	1300	1900
Вантажопідйомність, кг	17 940	20000	15000	20000	20000
2 група показників прохідності автопоїздів					
Ширина шини, мм	305	315	315	315	315
Дорожній просвіт, мм	240	314	400	330	400
Крутильний момент (max), Нм	2000	1950	7000	5000	7000
Кут підйому, що долає, град.	30	30	57	30	57
3 група габаритно-вагових показників автопоїздів					
Довжина, мм	9300	7300	7355	8210	7300
Ширина, мм	2500	2500	2500	2490	2490
Висота, мм	2800	3000	2870	2800	2800
Повна вага, кг	25000	20500	25000	19000	19000
4 група показників експлуатаційних властивостей					
Витрата палива з вантажом, л/100км	36	32	30	40	30
Габаритний радіус повороту, м	13,4	11,5	8	9,3	8
Навантаження на передню вісь (max), т	7,1	7,5	7,1	7,5	7,1
База, мм	4800	3800	3700	4550	3700

### III. Габаритно-вагові показники тягача:

- довжина;
- ширина;
- висота;
- повна вага.

### IV. Показники експлуатаційних властивостей:

- витрата палива з вантажом;
- габаритний радіус повороту;
- максимальне навантаження на передню вісь;
- база.

Ці показники визначають наступні реальні кількісні технічні характеристики автопоїздів.

Для зручності порівняння експлуатаційних характеристик автопоїздів усі показники були зведені до одного «знаку якості», шляхом подальшого використання величин, так званих, «позитивних» показників, що стають оберненими величинам негативних показників цієї сукупності.

Маємо деякі показники, що відповідають вимогам: чим більше значення показника. Це показники першої і другої груп (див. табл. 1).

Маємо також показники, що відповідають вимогам: чим менше значення показника,

тим ліпше, а саме показники третьої і четвертої груп.

Таким чином, сформовано еталонна сукупність експлуатаційних показників, тобто сукупності деякого еталонного зразку автопоїзда. Вона складається з показників найбільш високого рівню в сукупності величин показників автопоїздів, що порівнюються.

Здійснюється нормування всіх експлуатаційних показників величиною, що дорівнює модулю радіуса-вектору ( $A_i$ ) кількісного значення конкретного показника-параметра  $i$ -го автопоїзда і відповідного конкретного показника-параметра еталонного зразку. Цей модуль дорівнює

$$A_i = \sqrt{p_1^2 + p_b^2}, \quad (1)$$

де  $p_1$  – експлуатаційний показник першого автопоїзда, якість якого потрібно оцінити;  
 $p_b$  – аналогічний показник якості еталонного зразка.

Результат розрахунків зведено в табл. 2.

Таке нормування спрощує процес нормування параметрів. Результати модифікування і нормування експлуатаційних показників ко-

жного  $i$ -го автопоїзда ( $i = 1, \dots, k$ ) представляються у вигляді:

$$X_1^{(i)} = \frac{P_1}{\sqrt{[p_1]^2 + [p_B]^2}};$$

$$X_{16}^{(i)} = \frac{P_{16}}{\sqrt{[p_{16}]^2 + [p_B]^2}}. \quad (2)$$

Далі параметри ранжируються за формулою (2). Параметри  $X_1^{(i)} \dots X_{16}^{(i)}$  ( $i = 1, \dots, k$ ) були узгоджені при ранжируванні за важливістю шляхом експертного опитування. Результати розрахунків зведені в табл. 3.

Таблиця 2 Нормування всіх експлуатаційних показників величиною, що дорівнює модулю радіуса-вектору ( $A_i$ )

Оновні параметри автопоїздів	Volvo FH12.420	DAF XF 95.430	Volvo FH12 D12D420	Scania P124LB4x2N A420
Максимальна швидкість, км/год	127,28	127,28	125,87	120,41
Потужність двигуна, лс	599,65	605,28	599,65	599,65
Число обертів двигуна при Mmax, об/мин	2247,22	2687,01	2185,49	2302,17
Вантажопідйомність, кг	26867,1	28284,2	25000	28284,27
Ширина шини, мм	438,46	445,5	445,5	445,5
Дорожній просвіт, мм	466,5	508,52	565,68	518,55
Крутильний момент (max), Нм	7280,11	7266,53	9899,50	8602,32
Кут підйому, що долає, град.	64,41	64,41	80,61	64,41
Довжина, мм	0,00017	0,00019	0,00019	0,00018
Ширина, мм	0,00057	0,00057	0,00057	0,00057
Висота, мм	0,0005	0,00049	0,0005	0,0005
Повна вага, кг	0,000066	0,00007	0,00006,6	0,000074
Витрата палива з вантажом, л/100км	0,04339	0,045	0,0471	0,041
Габаритний радіус повороту, м	0,145	0,152	0,17678	0,1648
Навантаження на передню вісь (max), т	0,199	0,194	0,1992	0,194
База, мм	0,000341	0,00037	0,00038	0,000348

Таблиця 3 Результати модифікування і нормування експлуатаційних показників кожного автопоїзда

Оновні параметри автопоїздів	Volvo FH12.420	DAF XF 95.430	Volvo FH12 D12D420	Scania P124LB4x2 NA420	Еталон автопоїзда
Максимальна швидкість	0,7071	0,7071	0,6991	0,664	0,7071
Потужність двигуна, лс	0,7004	0,7071	0,7004	0,7004	0,7071
Число обертів двигуна при Mmax	0,534	0,7071	0,4942	0,5647	0,7071
Вантажопідйомність	0,66773	0,7071	0,6	0,70	0,7071
Ширина шини	0,6956	0,7071	0,70	0,70	0,7071
Дорожній просвіт	0,5145	0,6175	0,7071	0,636	0,7071
Крутильний момент (max)	0,2747	0,2683	0,7071	0,5812	0,7071
Кут підйому, що долає	0,4657	0,4657	0,7071	0,4657	0,7071
Довжина	0,6174	0,7071	0,7044	0,664	0,7071
Ширина	0,70569	0,70569	0,7057	0,707	0,7071
Висота	0,7071	0,6823	0,69832	0,707	0,7071
Повна вага	0,60508	0,6798	0,60508	0,707	0,7071
Витрата палива з вантажом	0,64018	0,68394	0,7071	0,6	0,7071
Габаритний радіус повороту	0,5126	0,571	0,7071	0,6521	0,7071
Навантаження на передню вісь	0,7071	0,6875	0,7071	0,6875	0,7071
База	0,6105	0,6976	0,7071	0,63	0,7071

Метод узгодженого ранжування, коли враховуються переваги кожного експерта. Розставляються за рівнем зменшення їх важливості наступну послідовність з чотирьох показників  $X_1, X_2, X_3, X_4$ .

Три досвідчених експерта ТОВ «Зенал» розтавили ці параметри за рівнем зменшення їх важливості. Оцінки зводяться до матриці  $H$  результатів початкового ранжування. Кожний її рядок відповідає переважним вимогам одного з експертів, а кожний стовбець матриці відповідає номеру місця, яке відображує ступінь його важливості за мірою її зменшення. При цьому матриця  $H(+)$  номерів місць позитивних переваг експертів містить за стовбцями лише відповідні номери місць, які експерти віддали переваги відповідним параметрам. Матрицю  $H(-)$  негативних переважних поглядів експертів будують таким чином, що великі величини номерів розташовуються на місцях елементів матриці, які є менш важливими (за поглядом експертів) параметрами.

I група показників автопоїзда:

$$H^{(+)} = \begin{vmatrix} 1 & 4 & 2 & 3 \\ 2 & 3 & 1 & 4 \\ 1 & 4 & 2 & 3 \end{vmatrix}; H^{(-)} = \begin{vmatrix} 4 & 1 & 3 & 2 \\ 3 & 2 & 4 & 1 \\ 4 & 1 & 3 & 1 \end{vmatrix}. (3)$$

Після підсумовування елементів стовбців матриці  $H^{(+)}$ , а також елементів стовбців матриці  $H^{(-)}$ , побудуємо вектори позитивних  $P^{(+)}$  і негативних  $P^{(-)}$  переваг експертів у вигляді:

$$P^{(+)} = (4 \ 11 \ 5 \ 10);$$

$$P^{(-)} = (11 \ 4 \ 10 \ 5). \quad (4)$$

Далі одержимо різницю векторів за формулою (4), тобто вектор  $\Delta P$  різницевого переваг експертів (5). Його елементи дозволяють розставити елементи послідовності параметрів, що ранжуються, з урахуванням абсолютних величин і знака елементів вектора різницевого переваг.

Це дозволяє розв'язати задачу узгодженого ранжування параметрів за рівнем зменшення їх важливості.

$$\Delta P = P^{(+)} - P^{(-)} = (-7 \ 7 \ -5 \ 5). \quad (5)$$

Найбільша величина позитивного другого елемента вектора (5) означає, що параметр з номером 2 необхідно розташувати за рівнем його важливості на останнє місце.

Повторюємо операції за формулами (3), (4), (5), але вже з трьома параметрами, потім з двома. Результати зведені в табл. 2.

Після повторення, отримаємо, що на передостанньому місці за важливістю після узгодження переваг експертів виявляється четвертий параметр. Далі на друге місце за важливістю необхідно поставити перший параметр, тому що найменше чисельне значення має третій елемент вектора різницевого переваг.

Таким є узгоджений погляд експертів. Узгодження декількох поглядів, особливо у випадку їх великої кількості, природно, дозволяє отримати більш зважений результат. Його корисність прямо пропорційна не тільки рівню кваліфікації експертів, але також їх кількості в процесі розв'язання задачі об'єктивного ранжирування множини параметрів.

Таким чином, проводиться узгодження чотирьох груп показників автопоїздів під час ранжирування, результати зведені в табл. 4.

Після обробки усіх результатів і розставлення в кожній групі експлуатаційних показників за важливістю, а також після розставлення самих груп показників автопоїздів за їх важливістю, одержаною є послідовність ранжированих показників  $i$ -го та еталонного зразків.

Далі величини параметрів були нанесені на сторони відповідних квадратів. Кожній групі із чотирьох параметрів були поставлені у відповідний квадрат, по сторонам якого нанесені шкали ранжированих параметрів від мінімального значення (нуля) до максимального (одиниці).

На горизонтальних сторонах квадрату нанесені шкали справа наліво, на вертикальних – знизу вверх.

Таблиця 4 Узгодження показників автопоїздів під час ранжирування

Позначення	Оцінка експерта															
	I група				II група				III група				IV група			
H(+)	2	-	1	3	1	-	3	2	-	3	2	1	2	-	3	1
	1	-	2	3	2	-	3	1	-	3	1	1	1	-	3	2
	3	-	1	2	1	-	3	2	-	1	3	2	1	-	2	3
P(+)	6	-	4	8	4	-	9	5	-	7	6	4	4	-	8	6
H(-)	2	-	3	1	3	-	1	2	-	1	2	3	2	-	1	3
	3	-	2	1	2	-	1	3	-	1	3	3	3	-	1	2
	1	-	3	2	3	-	1	2	-	3	1	2	3	-	2	1
P(-)	6	-	8	4	8	-	3	7	-	5	6	8	8	-	4	6
$\Delta P=P(+)-P(-)$	0	-	-4	4	-4	-	6	-2	-	2	0	-4	-4	-	4	0
H(+)	2	-	1	-	1	-	-	2	-	-	2	1	2	-	-	1
	1	-	2	-	1	-	-	2	-	-	2	1	1	-	-	2
	2	-	1	-	2	-	-	1	-	-	1	2	1	-	-	2
P(+)	5	-	4	-	4	-	-	5	-	-	5	4	4	-	-	5
H(-)	1	-	2	-	2	-	-	1	-	-	1	2	1	-	-	2
	2	-	1	-	2	-	-	1	-	-	1	2	2	-	-	1
	1	-	2	-	1	-	-	2	-	-	2	1	2	-	-	1
P(-)	4	-	5	-	5	-	-	4	-	-	4	5	5	-	-	4
$\Delta P=P(+)-P(-)$	1	-	-1	-	-1	-	-	1	-	-	1	-1	-1	-	-	1
Важливість після узгодження	$\equiv$	$\succ$	$-$	$\equiv$	$-$	$\succ$	$\equiv$	$\equiv$	$\succ$	$\equiv$	$-$	$-$	$\succ$	$\equiv$	$\equiv$	$\equiv$

На кожній шкалі (стороні квадрату) були відкладені значення відповідного показника  $i$ -го ( $i=1, \dots, k$ ) та еталонного (індекс «e») зразка. При цьому значення найбільш важливих показників із групи відкладені на лівій та верхній сторонах.

Точка перетину перпендикуляра з діагоналлю дає комплексну оцінку I-ї групи (I, II, III, IV) показників зразку  $Y^{(i)}$  та I-ї групи показників еталонного зразку  $Y^{(e)}$ . Такий підхід дозволяє одержати значення комплексної оцінки кожної із чотирьох груп параметрів у відсотках (рис. 1).

Побудовано графік для обчислення інтегрального показника автопоїзда. Це дозволяє одержати чисельного значення інтегрального показника кожного автопоїзда, яке порівнюються за суттєвими показниками (рис. 2).

Кращим є той зразок, для якого інтегральний показник  $E_i (i=1, \dots, k)$  є більш високим. Відповідає цим вимогам автопоїзд Volvo FH12

D12D420 ( $E = 1,312$ ).

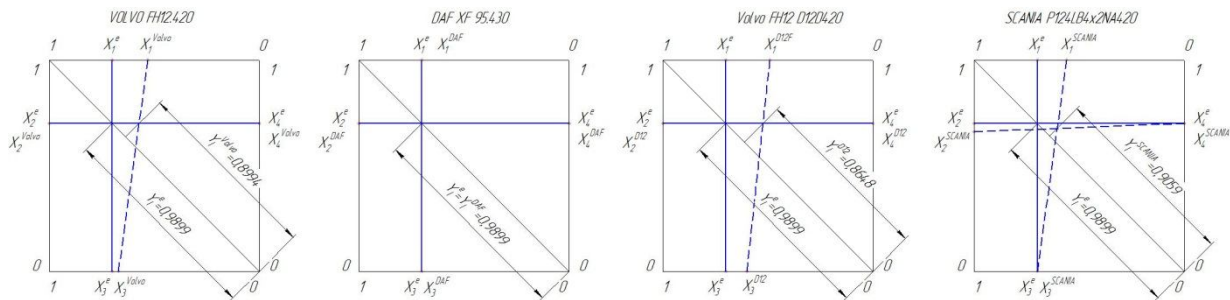
Візуальний аналіз рис. 2 показує, що і зовнішній вид, і інтерпретація побудови прямих ефективності суттєво відрізняються від розглянутих показників автопоїздів, що дає підстава вважати їх новим методом аналізу ефективності рішення завдань ранжирування.

Практичне застосування результатів графічного обчислення інтегральних експлуатаційних показників автопоїзда забезпечує таким чином, отримання можливості об'єктивного ранжирування.

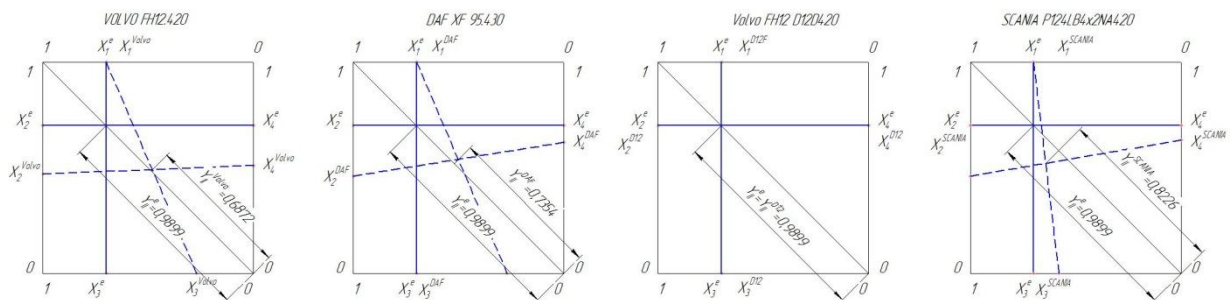
Перевагою розрахунково-графічного методу є велика наочність одержуваних результатів.

Якщо змінюються експлуатаційні показники, то графічно наглядно відображається зменшення інтегрованого показника. Аналіз різних марок автопоїздів дозволив раціонально прийняти рішення і вибрати автопоїзд для рішення поставлених задач.

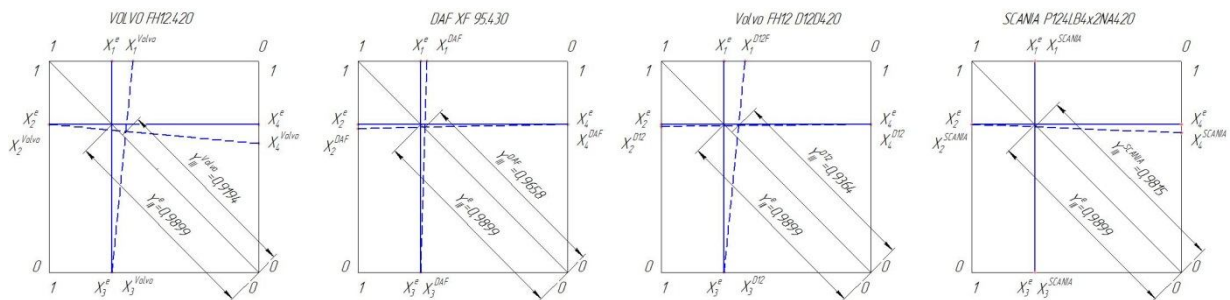
1 група показників ефективності



2 група показників прохідності автопоїздів



3 група габаритно-вагових показників автопоїздів



4 група показників експлуатаційних властивостей

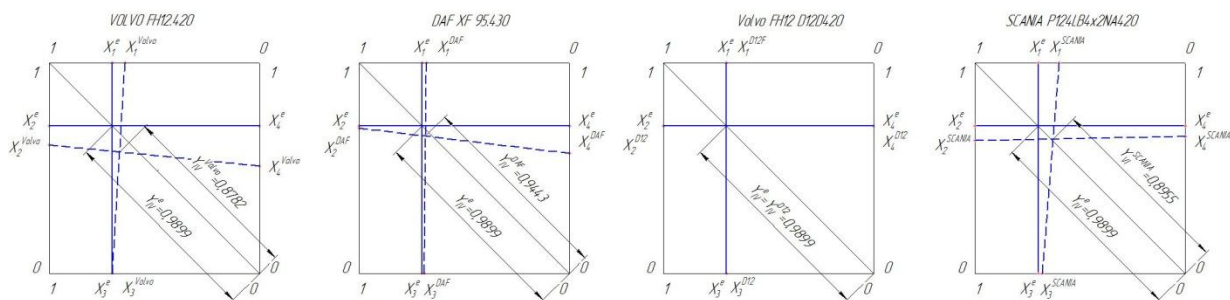


Рис. 1 – Графіки порівняння автопоїздів за параметрами кожної з чотирьох груп

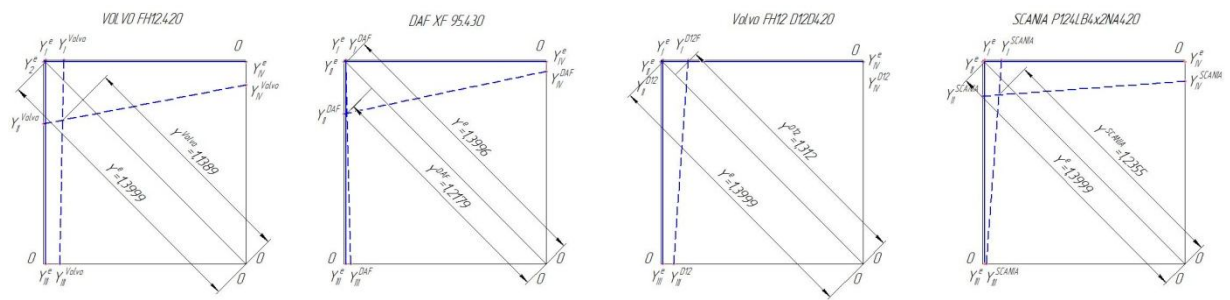


Рис. 2 – Графік інтегральних показників автопоїздів

**Висновки**

Таким чином, отримана об'єктивна оцінка інтегральної характеристики автопоїздів.

Спосіб ранжування дозволив здійснювати розв'язання задачі з урахуванням зміни окремих параметрів кожного автопоїзда і раціонально рішати поставлені задачі.

**Література**

1. Озерной В.М. Принципы построения и использования многокритериальных моделей задач принятия решений / В.М. Озерной // Сборник трудов Института проблем управления. – 1974. – Вып. 5. – С. 3-15.
2. Озерной В.М. Методология решения многокритериальных задач / В.М. Озерной, М.Г. Гафт // Многокритериальные задачи принятия решений: сборник. – М., 1978. – С. 14-17.
3. Гафт М.Г. Принятие решений при многих критериях / М.Г. Гафт // Математика, кибернетика. – М., 1979. – № 7. – 67 с.
4. Дем'янчук Б.О. Методика техніко-

економічного порівняння альтернативних зразків техніки за узагальненим показником їх корисних властивостей / Дем'янчук Б.О., В.М. Косарєв // Академічний огляд. – Дніпропетровськ: Дніпропетровський університет імені Альфреда Нобеля, 2015. – Вип. 1 (42). – С. 125-132.

5. Сахно В.П. Аналіз умов забезпечення працездатності автотранспортних засобів на основі удосконалення системи технічного обслуговування / Сахно В.П., Сакно О.П., Лисий О.В. // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені П. Василенка [«Ресурсозберігаючі технології, матеріали та обладнання у ремонтному виробництві»]. – Харків : ХНТУСГ, 2015. – Вип. 158. – С. 144-149.

Рецензент: В.П. Волков, професор, д.т.н., ХНАДУ.

Стаття надійшла до редакції 25 травня 2015 р.