УДК 339.92

К. І. Москаленко,
аспірант, Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна, м. Харків

ЕКОНОМІКО-МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ПЛАНУВАННЯ ЗОВНІШНЬОЕКОНОМІЧНОЇ ДІЯЛЬНОСТІ МАШИНОБУДІВНОГО КОМПЛЕКСУ УКРАЇНИ

K. Moskalenko,
Postgraduate, Vasyl Karazin National University of Kharkiv, Kharkiv

ECONOMIC-MATHEMATICAL MODEL OF PLANNING OF FOREIGN ECONOMIC ACTIVITIES OF MACHINE-BUILDING COMPLEX OF UKRAINE

Незважаючи на велику кількість наукових досліджень та практичних розробок у галузі планування зовнішньоекономічної діяльності промислових підприємств, зокрема підприємств машинобудування, сьогодні залишаються не вирішеними питання, пов'язані з розробкою та впровадженням економіко-математичних моделей планування ЗЕД підприємств машинобудівного комплексу національного господарства України. Автором обгрунтовано, що при виборі методів прогнозування необхідно віддавати перевагу кількісним методам прогнозування. У роботі побудовано економіко-математичну модель планування зовнішньоекономічної діяльності машинобудівного комплексу національного господарства, суть якої полягає у обгрунтуванні на основі достовірного прогнозування ступеня впливу чинників макросередовища на планування зовнішньоекономічної діяльності машинобудівного комплексу національного господарства України. Достовірність побудови довгострокових прогнозів потребує використання, аналізу, порівняння декількох методів; визначення їх переваг та недоліків. Цей факт треба враховувати при плануванні зовнішньоекономічної діяльності машинобудівного комплексу, за необхідності вносити відповідні корективи з метою поліпшення бажаних показників.

Despite the large number of research and practical developments in the field of planning of foreign economic activities of industrial enterprises, including machine building ones, the issues related to the development and implementation of economic and mathematical models of FEA planning of national machine-building enterprises of Ukraine remain unresolved. The author has proved that priority should be given to quantitative forecasting methods while choosing the methods of forecasting.

The paper presents the economic-mathematical model of planning of foreign economic activities of national machine-building complex, which is based on justification on the basis of reliable forecasting the degree of macro factors influence on planning of foreign economic activities of the national machine-building complex of Ukraine.

Reliability of long-term forecasts requires the use, analysis, and comparison of several methods as well as revealing their strengths and weaknesses.

This fact should be considered while planning foreign economic activity of machine-building complex making appropriate adjustments to improve the desirable indicators in case of need.

Ключові слова: планування, зовнішньоекономічна діяльність, модель, машинобудівний комплекс.
Key words: planning, foreign economic activity, model, machine-building complex.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ У ЗАГАЛЬНОМУ ВИГЛЯДІ ТА ЇЇ ЗВ'ЯЗОК ІЗ ВАЖЛИВИМИ НАУКОВИМИ ЧИ ПРАКТИЧНИМИ ЗАВДАННЯМИ

Машинобудівний комплекс України є однією з провідних та бюджетоутворюючих галузей національної економіки, незважаючи на існуючи проблеми які стосуються: енерго — та матеріалоємності продукції, зношеності виробничих активів, податкового навантаження та інших. З огляду на це гостро стає проблема удосконалення планування зовнішньоекономічної діяльності підприємств машинобудівного комплексу України.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ, В ЯКИХ ЗАПОЧАТКОВАНО РОЗВ'ЯЗАННЯ ДАНОЇ ПРОБЛЕМИ І НА ЯКІ СПИРАЄТЬСЯ АВТОР, ВИДІЛЕННЯ НЕ ВИРІШЕНИХ РАНІШЕ ЧАСТИН ЗАГАЛЬНОЇ ПРОБЛЕМИ, КОТРИМ ПРИСВЯЧУЄТЬСЯ ОЗНАЧЕНА СТАТТЯ

Питанням планування зовнішньоекономічної діяльності присвячені роботи таких вітчизняних і зарубіжних вчених як Макогон Ю. [1], Рум'янцева А. [2], Прокушева Е. [3], Стровського Л. [4], Черевань В. [5] та інших відомих дослідників. Проте сьогодні залишаються не вирішеними питан-

Таблиця 1. Результати прогнозування за методом простого ковзного середнього (simple moving average)

t_i	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
x_i	97,0	102,9	97,0	98,2	97,2					
f_k	-	-	-	98,967	97,467	97,467	97,622	97,430	97,506	97,519

ня, пов'язані з розробкою та впровадженням економіко-математичних моделей щодо підвищення ефективності планування ЗЕД підприємств машинобудівного комплексу національного господарства України.

ФОРМУЛЮВАННЯ ЦІЛЕЙ СТАТТІ (ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ)

Метою статті є розробка економіко-математичної моделі планування зовнішньоекономічної діяльності машинобудівного комплексу України.

ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ ДОСЛІДЖЕННЯ З ПОВНИМ ОБГРУНТУВАННЯМ ОТРИМАНИХ НАУКОВИХ РЕЗУЛЬТАТІВ

Планування роботи будь-якої сфери економічної діяльності базується на прогнозуванні результатів. Дійсно, прогнозування — це визначення тенденцій та перспектив розвитку тих чи інших процесів, яке базується на аналізі їх попередніх станів [6].

Економічне прогнозування є системою наукових досліджень про можливі напрями майбутнього розвитку економіки та її окремих сфер. Наукове прогнозування виступає формою наукового передбачення, яке передує розробці соціально-економічних і науково-технічних програм і планів.

У залежності від періоду прогнозування прогнози поділяються на короткострокові (до трьох місяців), середньострокові (до двох-трьох років) та довгострокові (більше двох-трьох років).

При виборі методів прогнозування, треба усвідомлювати, що деякі з методів потребують великої кількості початкових даних — кількісні методи (quantitative methods), а інші — працюють взагалі без наявності достовірної інформації, базуються, наприклад, на досвіді експертів — якісні методи (qualitative methods) .

При виборі методів прогнозування ми звертали увагу на те, що якісні методи, наприклад, широко відомий метод Делфі, дають задовільний результат лише при короткостроковому прогнозуванні. Наша мета — довгостроковий прогноз. Тому перевагу ми віддали саме кількісним методам.

Застосування будь-яких кількісних методів потребує великої підготовки: збору, аналізу, статистичної обробки даних. Нами був досліджений період 2010—2014 роки.

Скористаємося поняттям часового тренду — основної тенденції зміни часового ряду. Прогнозування економічних показників на базі трендових моделей базується на екстраполяції як методі наукового прогнозування [7].

У рамках вивчаємої проблеми під екстраполяцією ми розуміємо поширення закономірностей, які встановили в досліджений період, за його межі.

Побудуємо інтервальний трендовий ряд, в якому значення показників, що досліджуються, вказуються не в фіксовані моменти часу, а відповідають певному інтервалу. Для зручності запису інтервал [2010; 2011) будемо позначати як 2010, [2011; 2012) як 2011 і т.д. На прикладі показника "Індекс податкового навантаження (Total tax rate), відсотків" таблиці "Динаміка чинників макросередовища функціонування машинобудівного комплексу за 2010—2014 рр.", трендовий ряд має вигляд:

t_i	2010	2011	2012	2013	2014
x_i	97,0	102,9	97,0	98,2	97,2

Достовірність побудови довгострокових прогнозів потребує від нас використання, аналізу, порівняння декількох методів; визначення їх переваг та недоліків [8]. Детально проілюструємо застосування всіх обраних методів на прикладі розглянутого тренда, результати аналізу всіх інших показників розташуємо у доданках.

Метод простого ковзного середнього (simple moving average) полягає у тому, що розрахування показника на прогнозуємий момент часу базується на отриманні середніх значень цього показника за декілька попередніх моментів, тобто:

$$f_k = \frac{\sum_{k-1-N}^{k-1} x_i}{N} \quad (1),$$

де f_k — значення показника за прогнозом,

x_i — попередні (експериментально отримані) значення показника, N— величина інтервалу "згладжування".

У представлених розрахунках приймали та розширили горизонт прогнозування шляхом використання попередньо розрахованих показників (табл. 1).

Метод зваженого ковзного середнього (weighted moving average) базується на тому факті, що вплив всіх реальних показників, що використовуються при розрахунках, не є однаковим, більш "свіжі" данні, як правило, впливовіші. При цьому вводиться поняття "ваги" кожного з показників: старіші дані мають меншу вагу, свіжіші — більшу. Математично цей метод можна описати формулою:

$$f_k = \sum_{i=1}^{N} \omega_{k-i} \cdot x_{k-i} \quad (2).$$

Зауважимо, що величина "ваги" ω_k завжди величина додатна й задовольняє умові $0 \le \omega_k \le 1$.

При розрахунках ми приймали $N = 3$ і $\omega_1 = 0{,}1$, $\omega_2 = 0{,}3$, $\omega_3 = 0{,}6$ (ці вагові коефіцієнти використовуються найчастіше). Зауважимо, що був проведений числовий експеримент з іншими значеннями вагових коефіцієнтів. За його результатом переконалися, що обрані вагові коефіцієнти дають найсприятливіші показники. Результати обчислень зведені в таблиці 2.

Метод експоненційного згладжування (exponential smoothing) [37] враховує відхилення попереднього прогнозу від реального значення показника. Математично цей метод виражається формулою:

$$f_k = \alpha \cdot x_{k-1} + (1-\alpha) \cdot f_{k-1} \quad (3),$$

де x_{k-1} — реальне значення показника в тренді t_{k-1},

f_k — прогноз на момент t_k,

α — константа сглажування (приймає значення $0 < \alpha < 1$).

Як і в попередньому методі, значення константи α обирається методом числового експерименту. Ми обрали $\alpha = 0{,}2$. В якості першого прогнозу виступає середнє значення двох перших експериментальних числових даних. Результати обчислень представлені в таблиці 3.

Метод проектування тренда (trend projection). Основною ідеєю цього методу є побудова лінії, яка "в середньому" найменше відхиляється від масиву точок, заданих трендом. Для відображення основної тенденції зміни показників

Таблиця 2. Результати прогнозування за методом зваженого ковзного середнього (weighted moving average)

t_i	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
x_i	97,0	102,9	97,0	98,2	97,2					
f_k	-	-	-	98,770	98,310	97,480	97,468	97,445	97,455	97,453

Таблиця 3. Результати прогнозування за методом експоненційного згладжування (exponential smoothing)

t_i	2010	2011	2012	2013	2014	2015
x_i	97,0	102,9	97,0	98,2	97,2	
f_k	99,950	99,360	100,068	99,454	99,204	98,803

Таблиця 4. Дані для проектування лінійного тренду

	t_i	x_i	$x_i \cdot t_i$	t_i^2
	1	97,0	97,0	1
	2	102,9	205,8	4
	3	97,0	291,0	9
	4	98,2	392,8	16
	5	97,2	486,0	25
$\sum$	**15**	**492,3**	**1472,6**	**55**

Таблиця 5. Результати прогнозування за методом лінійного тренда

t_i	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
x_i	97,0	102,9	97,0	98,2	97,2					
f	99,320	98,890	98,460	98,030	97,600	97,170	96,740	96,310	95,880	95,450

Таблиця 6. Дані для проектування квадратичного тренда

	t_i	x_i	$x_i \cdot t_i$	t_i^2	t_i^3	t_i^4	$x_i \cdot t_i^2$
	1	97,0	97,0	1	1	1	97,0
	2	102,9	205,8	4	8	16	411,6
	3	97,0	291,0	9	27	81	873,0
	4	98,2	392,8	16	64	256	1571,2
	5	97,2	486,0	25	125	625	2430,0
$\sum$	**15**	**492,3**	**1472,6**	**55**	**225**	**979**	**5382,8**

використовують будь-які функції, але частіше за все — поліномами:

— $f_k = a_0 + a_1 \cdot t$ — поліном першої степені (4);

— $f_k = a_0 + a_1 \cdot t + a_2 \cdot t^2$ — поліном другої степені (5);

— $f_k = a_0 + a_1 \cdot t + a_2 \cdot t^2 + \cdots + a_n \cdot t^n$ — поліном n-ої степені (6).

Тут a_0, a_1, a_2 ... — параметри поліномів. У статистичній практиці вони мають свою інтерпретацію: a_0 — характеризує середні умови розвитку ряду динаміки параметру, a_1 — швидкість зростання (падіння, при від'ємних значеннях), a_2 — прискорення зростання (падіння). Значення параметрів поліномів знаходяться методом найменших квадратів. Суть його полягає в визначенні таких коефіцієнтів розкладу, при яких сума квадратів відхилень розрахованих значень від фактичних була б мінімальною. Таким чином, ці коефіцієнти знаходять мінімізацією виразу:

$$\sum_{i=1}^{N}(x_i - f_i)^2 \to min \quad (7),$$

де N — число елементів ряду,

x_i — фактичне значення параметру,

f_i — розраховане значення.

В результаті мінімізації отримується система нормальних рівнянь:

$$\begin{cases} n \cdot a_0 + a_1 \sum_i t_i + a_2 \sum_i t_i^2 + \cdots + a_n \sum_i t_i^n = \sum_i x_i \\ a_0 \sum_i t_i + a_1 \sum_i t_i^2 + a_2 \sum_i t_i^3 + \cdots + a_n \sum_i t_i^{n+1} = \sum_i x_i \cdot t_i \\ \cdots \\ a_0 \sum_i t_i^n + a_1 \sum_i t_i^{n+1} + a_2 \sum_i t_i^{n+2} + \cdots + a_n \sum_i t_i^{2n} = \sum_i x_i \cdot t_i^n \end{cases} \quad (8).$$

Ми проведемо проектування за допомогою лінійного (поліномом 1-ої степені) та квадратичного (поліномом 2-ої степені) трендів для розглядаємого показника та порівняємо результати. Для обчислення коефіцієнтів розкладу будемо вважати 1-им 2010 рік, 2-им — 2011, ..., 5-им — 2014. З метою проектування лінійного тренду складемо таблицю 4.

За її результатами складемо систему лінійних алгебраїчних рівнянь:

$$\begin{cases} 5a_0 + 15a_1 = 492{,}3 \\ 15a_0 + 55a_1 = 1472{,}6. \end{cases}$$

Розв'язання системи методами лінійної алгебри дає шукані коефіцієнти: $a_0 = 99{,}75$, $a_1 = -0{,}43$. Отже, лінійний тренд остаточно виглядає:

$$f = -0{,}043t + 99{,}75.$$

Занесемо результати обчислень у таблицю 5.

Графічно лінійний тренд зображають прямою лінією. При цьому виділяють висхідний, спадний та боковий тренди. Висхідний тренд характеризують як лінію "підтримки", а спадний — як лінію "опіру". Як бачимо, у розглянутому прикладі, ми отримали лінію опіру.

Спроектуємо шукані показники за допомогою квадратичного тренда. Для цього складемо систему лінійних алгебраїчних рівнянь (з попереднім обчисленням відповідних коефіцієнтів за допомогою таблиці 6).

$$\begin{cases} 5a_0 + 15a_1 = 492{,}3 \\ 15a_0 + 55a_1 = 1472{,}6 \\ 55a_0 + 225a_1 + 979a_2 = 5382{,}8 \end{cases}$$

Її розв'язання приводить к наступному вигляду поліному другої степені:

$$f = -0{,}096t^2 - 0{,}043t + 99{,}75.$$

Занесемо результати обчислень у таблицю 7.

Для наочності зведемо результати прогнозування всіма запропонованими методами в таблицю 8.

В процесі прогнозування неминуче виникають помилки прогнозу. Помилкою прогнозу вважають розбіжність між виміряними та спрогнозованими значеннями. При цьому слід відзначити, що в прогнозуванні вважається, що до того моменту, коли значення прогнозу знаходиться в обраних достовірних межах, ці розбіжності не є помилкою.

Вимірювання помилок прогнозу проводиться за такими показниками, як:

— середнє абсолютне відхилення (MAD)

$$MAD = \frac{\sum_{i=1}^{N}|x_i - f_i|}{N} \quad (9);$$

— середнє квадратичне відхилення (MSE)

$$MSE = \frac{\sum_{i=1}^{N}(x_i - f_i)^2}{N} \quad (10).$$

Результати вимірювання помилок за цими показниками для всіх використаних методів зведені в таблиці 9.

Вимірювання помилок двома методами обов'язково, тому що, наприклад, показник MSE дозволяє виявити окремі великі відхилення від фактичних даних. За допомогою MSE можна обрати такі методи прогнозування, які дають стабільні прийнятні середні помилки та відхилити ті методи, для

Таблиця 7. Результати прогнозування за методом квадратичного тренда

t_i	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
x_i	97,0	102,9	97,0	98,2	97,2					
f	99,224	98,506	97,596	96,764	95,200	93,714	92,036	90,166	88,104	85,850

Таблиця 8. Результати прогнозування за всіма використаними методами

t_i	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
x_i	97,0	102,9	97,0	98,2	97,2					
метод простого ковзного середнього	-	-	-	98,967	97,467	97,467	97,622	97,430	97,506	97,519
метод зваженого ковзного середнього	-	-	-	98,770	98,310	97,480	97,468	97,445	97,455	97,453
метод експонен-ційного згладжу-вання	99,950	99,360	100,068	99,454	99,204	98,803				
метод лінійного тренда	99,320	98,890	98,460	98,030	97,600	97,170	96,740	96,310	95,880	95,450
метод квадра-тичного тренда	99,224	98,506	97,596	96,764	95,200	93,714	92,036	90,166	88,104	85,850

яких характерні невеликі помилки, але припускаються великі похибки.

Порівняння всіх методів за двома показниками дозволяють зробити висновок про невелику точність прогнозів за методами експоненційного згладжування та квадратичного тренду. В подальших розрахунках ми виключимо метод квадратичного тренду з кількісного прогнозування економічних показників, а метод експоненційного згладжування, про недоліки якого вже було вказано раніше, залишимо.

Аналіз всіх обчислених результатів дає можливість зробити наступні висновки:

— метод лінійного тренду при довгостроковому прогнозуванні за умови різких коливань значень фактичних (виміряних) даних дає лише "оптимістичний" (при $a_1 > 0$) або "песимістичний" (при $a_1 < 0$) прогноз; для достовірного кількісного аналізу він не придатний. Використовувати його слід або при короткостроковому прогнозуванні, або для виявлення тенденції розвитку — зростання або падіння досліджуваних показників;

— методи простого та зваженого ковзного середнього, на наш погляд, дозволяють отримати більш "реалістичні" прогнози. Результат без різких коливань показників. Такий результат демонструє "ідеальну" модель стабільної роботи будь-якого комплексу.

Методи простого та зваженого ковзного середнього, експоненційного згладжування та лінійного тренду були використані при прогнозуванні динаміки зміни коефіцієнта адаптованості зовнішньоекономічної діяльності за всіма показниками до чинників макросередовища функціонування у періоді 2011—2014 рр.

Автором визначені середні значення коефіцієнтів адаптованості зовнішньоекономічної діяльності за різними показниками до чинників макросередовища функціонування у періоді 2011—2014 рр. та математична перевірка їх достовірності. З'ясувати, який з коефіцієнтів адаптованості за усіма показниками дає найбільше (найменше) значення знаходженням середнього арифметичного не є коректним, тому що за різними показниками тенденція зміни коефіцієнта адаптованості може суттєво відрізнятися. Тому скористаємося методом кластеризованих ранжировок [9].

Для зручності позначимо як:

1 — індекс податкового навантаження;

2 — індекс пред'явленого екологічного податку машинобудівним підприємствам, установам, організаціям:

3 — індекс інфляції;

Таблиця 9. Результати вимірювання помилок за показниками MAD і MSE

	MAD	MSE
метод простого ковзного середнього	0,517	0,230
метод зваженого ковзного середнього	0,840	0,779
метод експоненційного сглажування	2,562	7,250
метод лінійного тренда	1,670	4,903
метод квадратичного тренда	2,130	6,134

4 — індекс вартості короткострокових кредитів за даними статистичної звітності банків України для суб'єктів господарювання у національній валюті;

5— індекс вартості довгострокових кредитів за даними статистичної звітності банків України для суб'єктів господарювання у національній валюті;

6— індекс вартості короткострокових кредитів за даними статистичної звітності банків України для суб'єктів господарювання у іноземній валюті;

7 — індекс вартості довгострокових кредитів за даними статистичної звітності банків України для суб'єктів господарювання у іноземній валюті;

8 — індекс офіційного курсу гривні щодо іноземної валюти (долару США);

9 — індекс облікової ставки національного банку України;

10 — індекси цін постачальників електроенергії, газу, пари та кондиційованого повітря.

Ранжування перелічених індексів будемо за величиною в інтервалах:

0,50-0,54;	0,55-0,59;	0,60-0,64;	0,65-0,69;
0,70-0,74;	0,75-0,79;	0,80-0,84;	0,85-0,89;
0,90-0,94;	0,95-0,99;	1,00-1,04;	1,05-1,09;
1,10-1,14;	1,15-1,19;	1,20-1,24;	1,25-1,29.

У такому випадку вектор переваг за показником "Індекс обсягу експорту продукції підгалузеай машинобудування" підгалузі машинобудування "Виробництво комп'ютерів, електронної та оптичної продукції" виглядає як:

$$G_1 = \begin{Bmatrix} 7 \\ 6 \\ 1,3,10 \\ 2,5,8 \\ 4,9 \end{Bmatrix}$$

Аналогічно побудуємо вектори переваг за іншими показниками:

"Індекс обсягу імпортованих ресурсів для виробництва готової продукції підгалузей машинобудування" підгалузі машинобудування "Виробництво комп'ютерів, електронної та оптичної продукції"

$$G_2 = \begin{Bmatrix} 7 \\ 1,6 \\ 2,3,5,10 \\ 4,8 \\ 9 \end{Bmatrix}$$

"Індекс обсягу експорту продукції підгалузей машинобудування" підгалузі машинобудування "Виробництво електричного устаткування"

$$G_3 = \begin{Bmatrix} 7 \\ 6 \\ 1,3,10 \\ 2,4,5,8 \\ 9 \end{Bmatrix}$$

"Індекс обсягу імпортованих ресурсів для виробництва готової продукції підгалузей машинобудування" підгалузі машинобудування "Виробництво електричного устаткування"

$$G_4 = \begin{Bmatrix} 7 \\ 1,6 \\ 2,3,5,10 \\ 4,8 \\ 9 \end{Bmatrix}$$

"Індекс обсягу експорту продукції підгалузей машинобудування" підгалузі машинобудування "Виробництво машин і устаткування, не віднесених до інших угрупувань"

$$G_5 = \begin{Bmatrix} 7 \\ 1,3,6,10 \\ 2,4,5,8 \\ 9 \end{Bmatrix}$$

"Індекс обсягу імпортованих ресурсів для виробництва готової продукції підгалузей машинобудування" підгалузі машинобудування "Виробництво машин і устаткування, не віднесених до інших угрупувань"

$$G_6 = \begin{Bmatrix} 6 \\ 7 \\ 1 \\ 2,5 \\ 3,10 \\ 4,8 \\ 9 \end{Bmatrix}$$

"Індекс обсягу експорту продукції підгалузей машинобудування" підгалузі машинобудування "Виробництво автотранспортних засобів, причепів і напівпричепів"

$$G_7 = \begin{Bmatrix} 7 \\ 1,2 \\ 3,5,10 \\ 4,8 \\ 9 \end{Bmatrix}$$

"Індекс обсягу імпортованих ресурсів для виробництва готової продукції підгалузей машинобудування" підгалузі машинобудування "Виробництво автотранспортних засобів, причепів і напівпричепів"

$$G_8 = \begin{Bmatrix} 7 \\ 1,6 \\ 2,3,4,5,10 \\ 8 \\ 9 \end{Bmatrix}$$

"Індекс обсягу експорту продукції підгалузей машинобудування" підгалузі машинобудування "Виробництво інших транспортних засобів"

$$G_9 = \begin{Bmatrix} 6,7 \\ 1,2,3,10 \\ 5,8 \\ 4,9 \end{Bmatrix}$$

"Індекс обсягу імпортованих ресурсів для виробництва готової продукції підгалузей машинобудування" підгалузі машинобудування "Виробництво інших транспортних засобів"

$$G_{10} = \begin{Bmatrix} 7 \\ 1,6 \\ 2,3,4,5,10 \\ 8 \\ 9 \end{Bmatrix}$$

Найзручнішим є представлення ранжирувань за допомогою матриць відношень, елементи яких визначаються у відповідності з правилом:

$$p_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{якщо } x_i > x_j \\ -1, & \text{якщо } x_i < x_j \\ 0, & \text{якщо } x_i \sim x_j \end{cases} \qquad (11).$$

Матриця відношень для вектора згідно з запропонованим правилом має вигляд:

G_1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0	1	0	1	1	-1	-1	1	1	0
2	-1	0	-1	1	0	-1	-1	0	1	-1
3	0	1	0	1	1	-1	-1	1	1	0
4	-1	-1	-1	0	-1	-1	-1	-1	0	-1
5	-1	0	-1	1	0	-1	-1	0	1	-1
6	1	1	1	1	1	0	-1	1	1	1
7	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1
8	-1	0	-1	1	0	-1	-1	0	1	-1
9	-1	-1	-1	0	-1	-1	-1	-1	0	-1
10	0	1	0	1	1	-1	-1	1	1	0

Аналогічно будуються матриці відношень всіх інших векторів переваг. Для остаточного ранжирування скористаємося відстанню Кемені між бінарними відношеннями (до речі, цим методом користуються при якісному економіко-математичному прогнозуванні на основі експертних оцінок):

$$\sum_{\nu=1}^{m} D(P, P_\nu) = \sum_{\nu=1}^{m} \sum_{i<j} \left| P_{ij}^{(\nu)} - P_{ij} \right| =$$

$$= \sum_{i<j} \sum_{\nu=1}^{m} \left| P_{ij}^{(\nu)} - P_{ij} \right| = \sum_{i<j} \sum_{\nu=1}^{m} d_{ij}(P, P_\nu) \qquad (12).$$

Тобто відстанню Кемені є число, яке дорівнює сумі модулів різностей елементів, що розташовані на тих же самих місцях у відповідних їм матрицях. Тобто, сумарну відстань від P до $P_1, \dots, P_k$ можна обчислити за формулами:

$$d_{ij} = \begin{cases} 0, & \text{якщо } p_{ij} = 1 \\ 1, & \text{якщо } p_{ij} = 0 \\ 2, & \text{якщо } p_{ij} = -1 \end{cases} \qquad (13).$$

За результатами ранжирування сформуємо матрицю втрат. Елементи матриці втрат визначають за формулою:

$$r_{ij} = \sum_{\nu=1}^{m} d_{ij}(P, P_\nu) \qquad (14),$$

де P — довільне ранжирування, в якому $p_{ij} = 1$.

Отже, матриця втрат за результатами ранжирування має вигляд (праворуч вказані суми елементів кожного рядка):

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	$\sum d_{ij}$
1	10	2	4	0	0	15	20	0	0	4	**55**
2	18	10	11	4	8	20	20	3	0	11	**105**
3	16	9	10	2	7	19	20	0	0	10	**93**
4	20	16	18	10	16	20	20	10	2	18	**150**
5	20	12	13	4	10	20	20	4	0	13	**116**
6	5	0	1	0	0	10	16	0	0	1	**33**
7	0	0	0	0	0	4	10	0	0	0	**14**
8	20	17	20	10	16	20	20	10	0	20	**153**
9	20	20	20	19	20	20	20	20	10	20	**189**
10	16	9	10	2	7	19	20	0	0	10	**93**

За допомогою метода кластеризованих ранжировок ми встановили "рейтинг" середніх значень коефіцієнтів адаптованості за зростанням (від найбільшого — 7 показника, до найменшого — 9 показника):

7	6	1	3,10	2	5	4	8	9

Відзначимо, що результати, отримані ранжируванням добре корелюють з результатами, отриманими простим знаходженням середнього арифметичного (табл. 10, рис. 1).

З представлених обчислень та діаграми випливає висновок, що найвищі значення коефіцієнтів адаптованості за всіма напрямами є у показників 7, 6, 1, а найнижчі — 9, 8, 4.

ВИСНОВКИ З ДАНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ І ПЕРСПЕКТИВИ ПОДАЛЬШИХ РОЗВІДОК У ДАНОМУ НАПРЯМІ

У роботі побудовано економіко-математичну модель планування зовнішньоекономічної діяльності машинобудівного комплексу національного господарства, суть якої полягає у обгрунтуванні на основі достовірного прогнозування ступеню впливу чинників макросередовища на планування зовнішньоекономічної діяльності машинобудівного комплексу національного господарства України. На думку автора, достовірність побудови довгострокових прогнозів потребує використання, аналізу, порівняння декількох методів; визначення їх переваг та недоліків. Цей факт треба враховувати при плануванні зовнішньоекономічної діяльності машинобудівного комплексу, при необхідності вносити відповідні корективи з метою поліпшення бажаних показників.

Таблиця 10. Рейтенгування показників за методом кластеризованих ранжировок та середнім арефметичним

Номер показника	Рейтинг за методом кластеризованих ранжировок	Середнє арифметичне показника за 10-ма напрямками	Рейтинг за середнім арифметичним
1	**3**	0,912	**3**
2	**6**	0,873	**6**
3	**4,5**	0,880	**5**
4	**8**	0,830	**8**
5	**7**	0,868	**7**
6	**2**	0,950	**2**
7	**1**	0,968	**1**
8	**9**	0,827	**9**
9	**10**	0,764	**10**
10	**4,5**	0,882	**4**

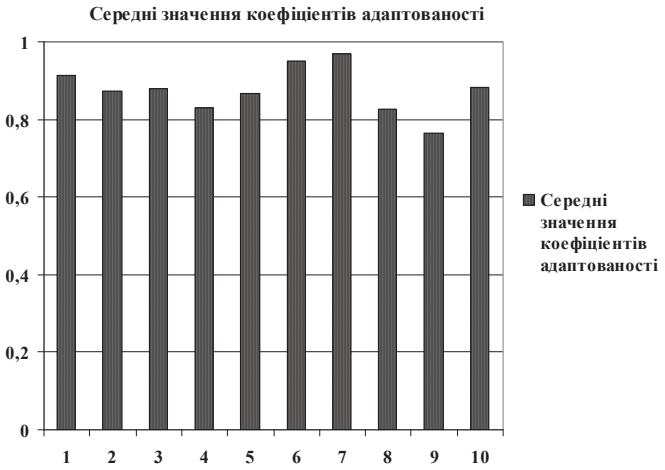

Рис. 1. Середні значення коефіцієнтів адаптованості

Література:

1. Макогон Ю.В. Внешнеэкономическая деятельность: организация, управление, прогнозирование: учебник. — Донецк: Альфа-Прес,2004. — 344 с.
2. Румянцев А. П., Рум'янцева Н.С. Зовнішньоекономічна діяльність: навч. посібник. — К.: ЦНЛ, 2004. — 377 с.
3. Прокушев Е.Ф. Внешнеэкономическая деятельность. Инкотермс-2000: учеб. пособие. — М.: "Дашков и К",2003. — 307с.
4. Внешнеєкономическая деятельность предприятия: учебник / Под ред. Л.Е. Стровского. — М.: Юнити,2003.
5. Черевань В.П., Рум'янцев А.П., Романенко Л.Ф. Міжнародна економічна діяльність: навч. посібник. — К: Видавничий Дім "Слово",2003. — 280 с.
6. Шикин Е. В., Чхартишвили А. Г. Математические методы и модели в управлении: учеб. пособие. — 3-е изд. — М.: Дело, 2004. — 440 с. — (Сер. "Классический университетский учебник").
7. Грешилов А.А., Стакун В.А., Стакун А.А. Математические методы построения прогнозов. — М.: Радио и связь, 1997. — 112 с.
8. Экономико-математические методы и прикладные модели: учебное пособие для вузов / В. В. Федосеев, А. Н. Гармаш, Д.М. Дайитбегов и др.; Под ред. В.В. Федосеева. — М.: ЮНИТИ, 1999. — 391 с.
9. Горский В. Г. Метод согласования кластеризованных ранжировок / В.Г. Горский, А.И. Орлов, А.А. Гриценко // Автоматика и телемеханика. 2000. №3. — С. 159—167.

References:

1. Makogon, Ju.V. (2004), Vneshnejekonomicheskaja dejatel'nost': organizacija, upravlenie, prognozirovanie [Foreign Trade: organization, management, forecasting], Al'fa-Pres, Doneck, Ukraine.
2. Rumiantsev, A. P. and Rum'iantseva, N.S. (2004), Zovnishn'oekonomichna diial'nist' [Foreign economic activity], TsNL, Kyiv, Ukraine.
3. Prokushev, E.F. (2003), Vneshnejekonomicheskaja dejatel'nost'. Inkoterms-2000 [Foreign economic activity. Incoterms 2000], Dashkov i K, Moscow, Russian Federation.
4. Strovskij, L.E. (2003), Vneshnejekonomicheskaja dejatel'nost' predprijatija [Foreign economic activity of the enterprise], Juniti, Moscow, Russian Federation.
5. Cherevan', V.P. Rum'iantsev, A.P. and Romanenko, L.F. (2003), Mizhnarodna ekonomichna diial'nist' [International economic activity], Vydavnychyj Dim "Slovo", Kyiv, Ukraine.
6. Shikin, E. V. and Chhartishvili, A. G. (2004), Matematicheskie metody i modeli v upravlenii [Mathematical methods and models in management], 3rd ed, Delo, Moscow, Russian Federation.
7. Greshilov, A. A. Stakun, V.A. and Stakun, A. A. (1997), Matematicheskie metody postroenija prognozov [Mathematical methods of forecasting], Radio i svjaz', Moscow, Russian Federation.
8. Fedoseev, V. V. Garmash, A. N. Dajitbegov, D.M. and Fedoseeva, V.V. (1999), Jekonomiko-matematicheskie metody i prikladnye modeli [Economic-mathematical methods and applied models], JuNITI, Moscow, Russian Federation.
9. Gorskij, V. G. Orlov, A.I. and Gricenko, A.A. (2000), "Matching method of clustered rankings", Avtomatika i telemehanika, vol. 3, pp. 159—167.

Стаття надійшла до редакції 09.10.2015 р.