

УДК 656.025.4

Н. В. Халіпова, кандидат технічних наук, доцент,
доцент кафедри транспортних систем та технологій
Академії митної служби України
І. Ю. Леснікова, кандидат технічних наук, доцент,
доцент кафедри транспортних систем та технологій
Академії митної служби України

ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ПРОГНОЗНИХ МОДЕЛЕЙ ВАНТАЖОПОТОКІВ ЗОВНІШНЬОЕКОНОМІЧНОЇ ДІЯЛЬНОСТІ

У статті проведено порівняльний аналіз прогнозних моделей та сформульовано критерії вибору моделі прогнозування вантажопотоку зовнішньоекономічної діяльності.

В статье проведен сравнительный анализ прогнозных моделей и сформулированы критерии выбора модели прогнозирования грузопотока внешнеэкономической деятельности.

In this article the comparative analysis of prediction models is carried out and criteria for the selection of prediction models of cargo traffic of foreign economic activity are formulated.

Ключові слова. Прогноз вантажопотоку, експоненціальне згладжування, динамічний ряд.

Вступ. Реалізуючи курс на інтеграцію в європейську та світову економічні системи, Україна поступово розвиває зовнішньоекономічні зв'язки. Тому дуже важливий прогноз обсягів міжнародних перевезень автомобільними шляхами України [1]. Прогнозування вантажних перевезень – одна з важливих і складних проблем у теорії та практиці планування. Складність пояснюється тим, що на розмір перевезень впливає багато факторів, а математична модель не може охопити всю складність процесу перевезень вантажів. Рекомендується використовувати мінімальну, але достатню кількість факторів, які в основному визначають поведінку функції, суттєво впливають на розмір перевезень і піддаються кількісному вимірюванню [2].

Попередній аналіз часових рядів економічних показників полягає у виявленні та вилученні аномальних значень рівнів ряду і визначенні наявності тренда у вихідному ряді. Але часто рівні динамічного ряду коливаються, і тенденція розвитку економічного явища в часі прихована випадковими відхиленнями рівнів у той чи інший бік. З метою більш точного дослідження вантажопотоку для подальшого застосування методів прогнозування на основі трендових моделей роблять згладжування часових рядів.

Найпростіший метод механічного згладжування – це метод простої ковзної середньої, який використано для дослідження тренд-сезонних процесів [3]. Згідно зі схемою ковзної середньої, оцінкою поточного рівня є зважене середнє всіх попередніх рівнів, причому вагові коефіцієнти при спостереженнях спадають у міру віддалення від останнього рівня, тобто інформаційна цінність спостережень визнається тим більшою, чим ближче від кінця інтервалу спостережень. Такі моделі добре відбивають зміни, що відбуваються в тенденції, але в чистому вигляді не дозволяють відображати коливання. Недолік цього методу полягає в тому, що перші й останні рівні ряду втрачаються (не згладжуються), і його можна застосовувати тільки для рядів, які мають лінійну тенденцію.

Метод експоненціального згладжування дозволяє побудувати такий опис процесу, коли більш пізнім спостереженням приписуються більші вагові коефіцієнти порівняно з ранніми спостереженнями, причому ваги спостережень спадають за експонентою [4].

© Н. В. Халіпова, І. Ю. Леснікова, 2010

Постановка завдання. Розробити прогноз вантажопотоку на 2010 р. через міжнародний автомобільний пункт пропуску “Ужгород” на основі статистичних даних для визначення обсягів митного оформлення через митний кордон, розрахунку навантаження на митний підрозділ і перспективи його розвитку.

Таблиця 1

Обсяги вантажного потоку у 2005–2009 рр., вантажних автомобілів

Місяць	Оформлено				
	2005	2006	2007	2008	2009
Січень	2843	4163	4125	6395	4672
Лютий	3162	5029	4820	7847	6568
Березень	4050	5938	5771	9561	8398
Квітень	4944	5632	6048	11 031	6463
Травень	4788	5235	5927	9599	8731
Червень	5321	5692	5960	10 031	8797
Липень	5317	5444	6705	10 772	8562
Серпень	5432	5907	7153	10 489	8042
Вересень	5890	6064	7143	11 077	8432
Жовтень	6266	6727	8601	11 284	8639
Листопад	6165	6734	8651	9605	7828
Грудень	5686	6060	7437	8137	6859
Разом	59 864	68 625	78 241	115 828	91 991

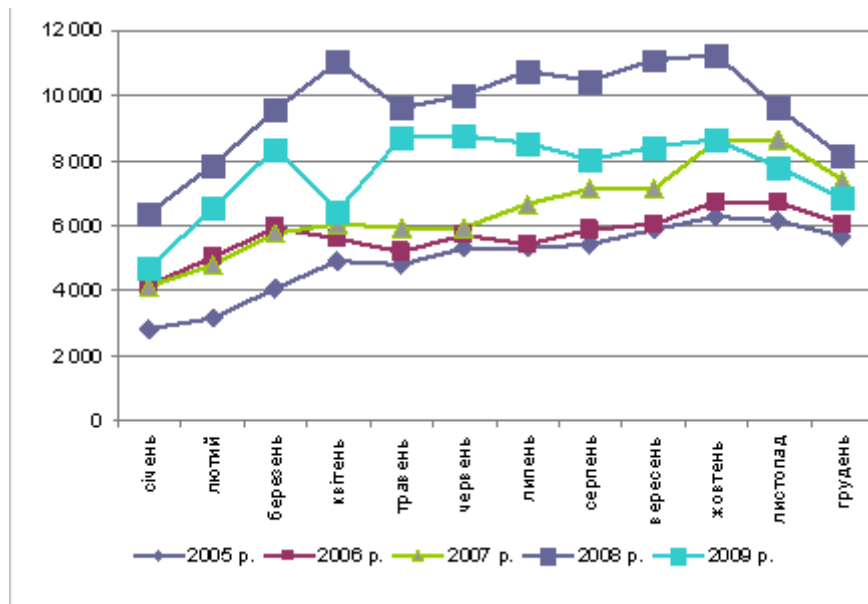


Рис. 1. Порівняльна характеристика руху вантажних транспортних засобів через митний пост “Ужгород” за 2005–2009 рр.

Аналіз вантажопотоку через міжнародний автомобільний пункт пропуску “Ужгород” протягом 2005–2009 рр. наведено в табл. 1.

Очевидне зростання вантажопотоків на 8761 одиницю у 2006 р., на 18 377 одиниць – у 2007 р. та 55 964 – порівняно з 2005 р. Збільшення вантажопотоків через митний кордон України у 2009 р. порівняно з 2005 р. становить 48,3 % (рис. 1).

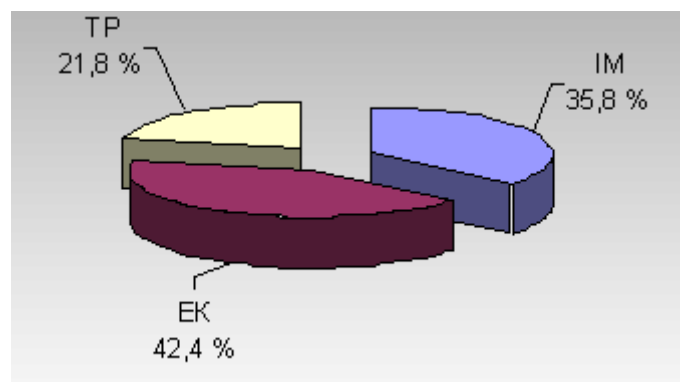


Рис. 2. Структура вантажопотоку через митний пост “Ужгород” у 2009 р.

Результати дослідження. Опрацьовуючи експортно-імпорتنі вантажопотоки, важливо розуміти область застосування різних методів прогнозування і залежно від обсягу та характеру даних швидко й безпомилково обирати необхідний шлях. Для вибору методу необхідно дотримуватись вимог до мінімальної кількості вихідних даних обраного прогнозу (рис. 3).

В основі експоненціального згладжування лежить теоретико-імовірнісна схема: $y_t = f(t) + \varepsilon_t$, $t = 1, 2, \dots, n$, де y_t – часовий ряд, ε_t – значення випадкової складової, з математичним сподіванням $M\varepsilon_t = 0$ і дисперсією $D\varepsilon_t = \sigma^2$.

Для спрощення припустимо, що значення випадкової складової в різні моменти часу некорельовані, тобто $\text{cov}(\varepsilon_t, \varepsilon_s) = 0$, $t \neq s$.

Сутність методу полягає у згладжуванні вихідного динамічного ряду зваженою ковзною середньою, вагові коефіцієнти якої підпорядковуються експоненціальному закону. Припустимо, що апроксимуюча функція для прогнозування динамічного ряду $y(t)$ поліном:

$$y(t) = b_0 + b_1 t + \frac{b_2}{2!} t^2 + \dots + \frac{b_n}{n!} t^n + \varepsilon_t, \quad (1)$$

де b_1, b_2, \dots, b_n – коефіцієнти; n – порядок полінома; ε_t – випадкова похибка.

З початкового часового ряду $y(t)$ згладжений ряд $S_t(y)$ можна одержати за допомогою лінійного оператора згладжування:

$$S_t(y) = \alpha y_t + (1 - \alpha) S_{t-1}(y), \quad (2)$$

де α – параметр згладжування ($0 \leq \alpha \leq 1$).

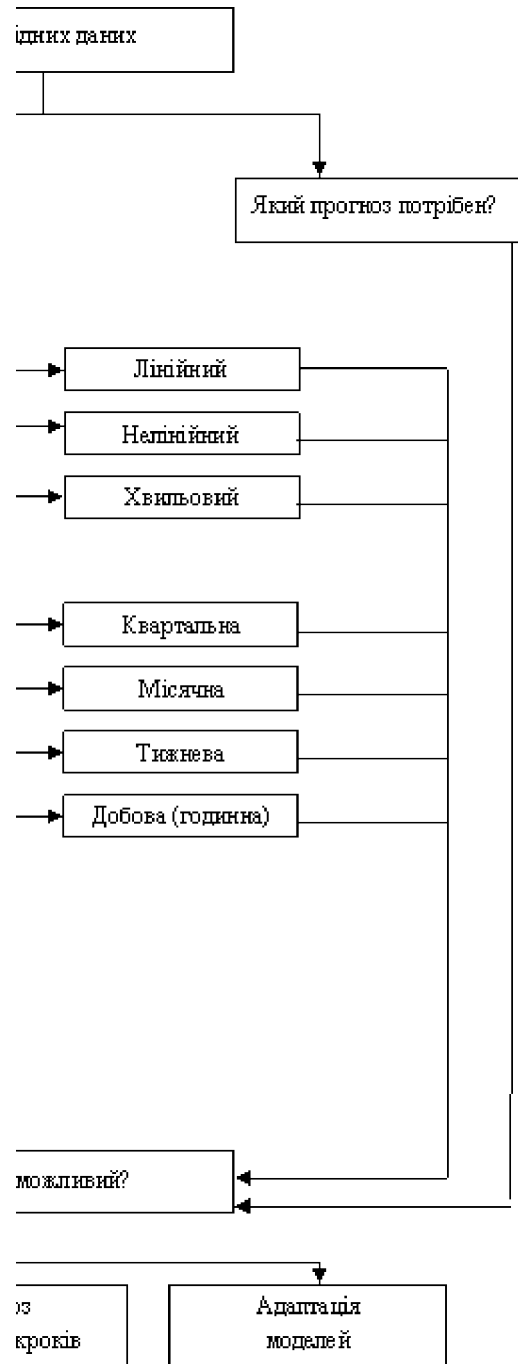


Рис. 3. Схема підготовки прогнозних рішень

У зв'язку з тим, що вагові коефіцієнти експоненційно спадають, то за достатньо великої довжини ряду його минулі значення входять з вагами, які швидко прямують до нуля (у міру віддалення), тому умовно ряд можна вважати нескінченним. Вираз

$$S_t^{[k]}(y) = \alpha \sum_{i=0}^{\infty} (1 - \alpha)^i S_{t-1}^{[k-1]}(y) \quad (3)$$

називається експоненціальною середньою k -го порядку для ряду $y(t)$.

Для визначення експоненціальної середньої застосовують рекурентну формулу Брауна:

$$S_t^{[k]}(y) = \alpha S_{t-1}^{[k-1]}(y) + (1 - \alpha) S_{t-1}^{[k]}(y) \quad (4)$$

Застосовуючи декілька разів оператор згладжування і підбираючи відповідним чином параметр згладжування, можна практично повністю виключити випадкову складову.

Використання співвідношення (3) передбачає завдання початкових умов $S_0^{[1]}, S_0^{[2]}, \dots, S_0^{[k]}$, які можуть бути визначені за формулою Брауна – Мейєра [5].

Розглянемо застосування методу експоненціального згладжування у випадку, коли тренд описується квадратичним прогнозуємим поліномом, який використовується найчастіше:

$$y(t) = b_0 + b_1 t + \frac{b_2}{2!} t^2 + \varepsilon_t \quad (5)$$

Етап 1. За точками часового ряду оцінюються початкові значення b_0 , b_1 і b_2 параметрів моделі за допомогою методу найменших квадратів для параболічної апроксимації (рис. 4).

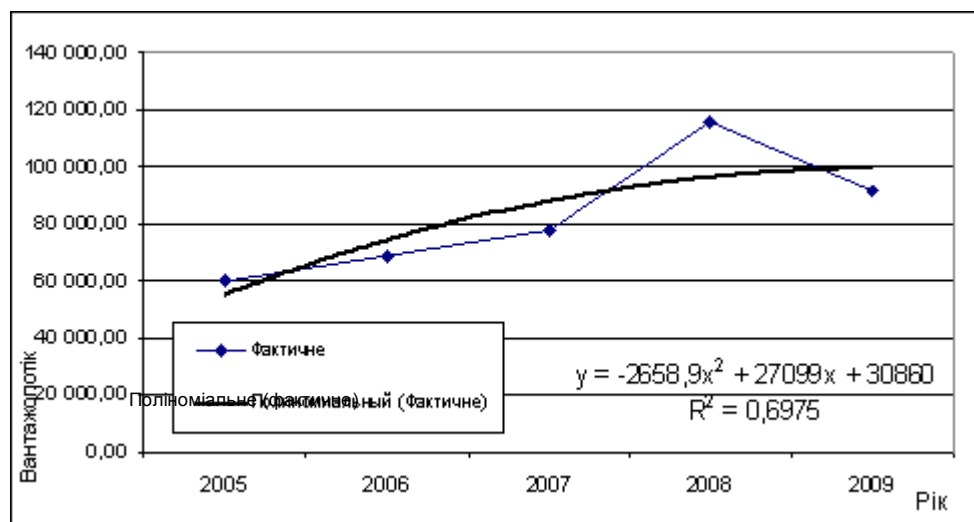


Рис. 4. Вибір функції тренда

Коефіцієнти початкового тренда: $B_0 = 30860$, $B_1 = 27099$, $B_2 = -5317,8$.

Таблиця 2

Визначення похибки прогнозу

№ з/п	Рік	Фактичне значення	Початкове трендове значення	Абсолютне відхилення	Відхилення у квадраті
1	2005	59 864,00	55 300	- 4563,900	20 829 183,210
2	2006	68 625,00	74 422	5797,400	33 609 846,760
3	2007	78 241,00	88 227	9985,900	99 718 198,810
4	2008	115 828,00	96 714	-19114,4	365 360 287,360
5	2009	91 991,00	99 883	7 892	62 275 772,250
6	2010	?	97 734	?	581 793 288,390
7	2011	?	90 267	Похибка	13 925,915
Параметр згладжування					0,33333333
Похибка прогнозу					36 254,957

Етап 2. Початкові наближення:

$$\begin{aligned}
 S_0^{[1]}(y) &= b_0 - \frac{1-\alpha}{\alpha} b_1 + \frac{(1-\alpha)(2-\alpha)}{2\alpha^2} b_2, \\
 S_0^{[2]}(y) &= b_0 - \frac{2(1-\alpha)}{\alpha} b_1 + \frac{(1-\alpha)(3-2\alpha)}{2\alpha^2} b_2, \\
 S_0^{[3]}(y) &= b_0 - \frac{3(1-\alpha)}{\alpha} b_1 + \frac{(1-\alpha)(4-3\alpha)}{2\alpha^2} b_2.
 \end{aligned} \tag{6}$$

Етап 3. Експоненціальні середні:

$$\begin{aligned}
 S_t^{[1]}(y) &= \alpha y_t + (1-\alpha) S_{t-1}^{[1]}(y), \\
 S_t^{[2]}(y) &= \alpha S_t^{[1]}(y) + (1-\alpha) S_{t-1}^{[2]}(y), \\
 S_t^{[3]}(y) &= \alpha S_t^{[2]}(y) + (1-\alpha) S_{t-1}^{[3]}(y).
 \end{aligned} \tag{7}$$

Етап 4. Оцінки коефіцієнтів параболічної залежності для тренда

$$\begin{aligned}
 b_0^* &= 3(S_t^{[1]}(y) - S_t^{[2]}(y)) + S_t^{[1]}(y), \\
 b_1^* &= \frac{\alpha}{2(1-\alpha)} ((6-5\alpha)S_t^{[1]}(y) - 2(5-4\alpha)S_t^{[2]}(y) + (4-3\alpha)S_t^{[3]}(y)), \\
 b_2^* &= \frac{\alpha}{(1-\alpha)^2} (S_t^{[1]}(y) - 2S_t^{[2]}(y) + S_t^{[3]}(y)).
 \end{aligned} \tag{8}$$

Таблиця 3

Прогноз вантажопотоку у випадку квадратичного прогнозуючого полінома на 2010–2011 рр.

Початкові наближення	$S_0^{[1]}$	$S_0^{[2]}$	$S_0^{[3]}$	Коефіцієнт параболічної залежності			Прогнозне значення	Рік
				b_0	b_1	b_2		
S_0	-49 927	-114 761	-179 594	b_0	b_1	b_2	y^*	
Експонен- ціальні середні	-13 330	-80 950,4	-146 713	56 148,27	23 933,53	1393,4	80 779	2006
	13 988,33	-49 304,2	-114 243	75 634,13	19 862,47	-1235,02	94 879	2007
	35 405,89	-21 067,5	-83 184,7	86 235,37	14 591,54	-4232,91	98 710	2008
	62 213,26	6692,77	-53 225,6	113 335,9	15 208,45	-3298,38	126 895	2009
	72 139,17	28 508,24	-25 981	104 911,8	6399,95	-8143,7	107 240	2010
							101 424	2011

Етап 5. Прогноз на момент t_1 : $y_{t_1}^* = b_0^* + b_1^* t_1 + \frac{1}{2} b_2^* t_1^2$, при цьому похибка прогнозу:
 $\sigma_{y_t}^* = \sigma_{y_t} \sqrt{2\alpha + 3\alpha^2 + 3\alpha^3 t_1^2}$.

Для методу експоненціального згладжування основним і найбільш складним є момент вибору параметра згладжування α , початкових умов і степеня прогнозуючого полінома, бо параметр згладжування визначає оцінку коефіцієнтів, моделі й результат прогнозу.

Для наближеної оцінки α можна скористатися співвідношенням Брауна: $\alpha = \frac{2}{n+1}$, де n – кількість спостережень у динамічному ряді. Проте оптимізувати α можна за допомогою мінімізації середньоквадратичної похибки прогнозу σ_e [6]. Залежно від величини α прогнозні оцінки по-різному враховують вплив членів динамічного ряду: чим більше α , тим більший вплив останніх спостережень на формування тренда. Параметр згладжування визначався підбором розрахунків.

Якість прогнозу також залежить від вибору порядку прогнозуючого полінома. Відомо, що збільшення другого порядку моделі не приводить до суттєвого збільшення точності прогнозу, але значно ускладнює розрахунок.

Таким чином, за методом експоненціального згладжування побудовано прогнозну модель обсягу вантажопотоку через міжнародний автомобільний пункт пропуску “Ужгород”, яка має вигляд:

$$y = 104911,8 + 6399,95f - \frac{8143,7}{2}f^2$$

. При цьому прогноз на 2010 р. становить 107 240 одиниць. Таку кількість транспортних засобів оформляють посадові особи митних органів при перетині митного кордону України, а похибка прогнозу вантажопотоку – 3625 одиниць (табл. 3).

Порівняльну характеристику руху вантажних транспортних засобів через митний пост “Ужгород” за 2005–2011 рр. на основі фактичних, трендових, розрахованих прогнозних та інтервальних значень

кількості вантажних одиниць для параметра згладжування $\alpha = \frac{1}{3}$ наведено на рис. 6.

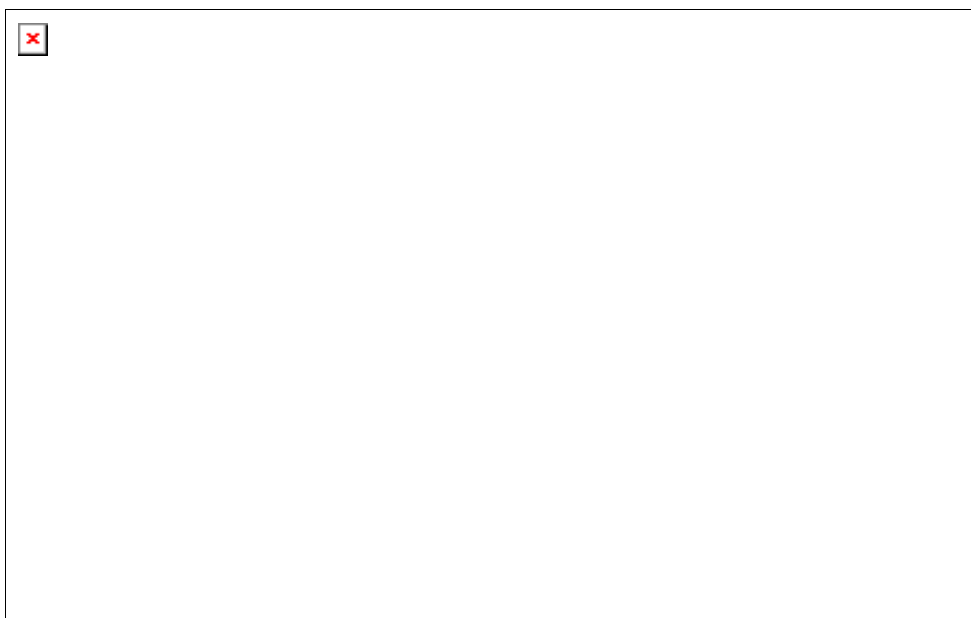


Рис. 6. Порівняльна характеристика руху вантажних транспортних засобів

За короткострокового прогнозування, а також за прогнозування в ситуації зміни зовнішніх умов, коли найбільш важливі останні реалізації належного процесу, найефективнішими виявляються адаптивні методи, що враховують нерівноцінність рівнів часового ряду.

Загальну схему побудови адаптивних моделей можна зобразити таким чином. За декількома першими рівнями ряду оцінюються значення параметрів моделі. За наявною моделлю будується прогноз на один крок вперед, причому його відхилення від фактичних рівнів ряду розцінюється як похибка прогнозування, яка враховується відповідно до прийнятої схеми коректування моделі. Потім за моделлю зі скоректованими параметрами розраховується прогнозна оцінка на наступний момент часу і т. д. Таким чином, модель постійно “вбирає” нову інформацію і до кінця періоду навчання відображає тенденцію розвитку процесу, що існує в даний момент.

У практиці статистичного прогнозування найчастіше використовується модель Брауна, що зображує процес розвитку як лінійну тенденцію з параметрами, що постійно змінюються.

Порядок моделі зазвичай визначають апріорі на основі візуального аналізу графіка процесу (чи є тренд і чи близький він до лінійної функції) та характеру зміни досліджуваного явища [7].

Розглянемо етапи побудови лінійної адаптивної моделі Брауна.

Етап 1. За першими п’ятьма точками часового ряду оцінюються початкові значення A_0 і A_1 параметрів моделі за допомогою методу найменших квадратів для лінійної апроксимації:

$$F_p(f) = A_0 + A_1 f, \quad (t = 1, 2, \dots, 5). \quad (9)$$

Етап 2. З використанням параметрів A_0 і A_1 за моделлю Брауна знаходимо прогноз на один крок ($k = 1$):

$$Y_p(t, k) = A_0(t) + A_1(t)k. \quad (10)$$

Етап 3. Розрахункові значення $Y_p(t, k)$ економічного показника порівнюють з фактичним $Y(t)$ і обчислюють величину їх розбіжності (похибки). При $k = 1$ маємо:

$$e(t+1) = Y(t+1) - Y_p(t, 1). \quad (11)$$

Етап 4. Відповідно до цієї величини коректуються параметри моделі. У моделі Брауна модифікація здійснюється таким чином:

$$\begin{aligned} A_0(t) &= A_0(t-1) + A_1(t-1) + (1 - \beta)^2 e(t), \\ A_1(t) &= A_1(t-1) + (1 - \beta) e(t), \end{aligned} \quad (12)$$

де β – коефіцієнт дисконтування даних, що змінюється в межах від 0 до 1 ($\alpha + \beta = 1$), характеризує знецінення даних за одиницю часу і відображає ступінь довіри до пізніших спостережень. Оптимальне значення знаходиться ітераційним шляхом, тобто багаторазовою побудовою моделі за різних β і вибором якнайкращої,

або за формулою: $\beta = \frac{N-3}{N-1}$, де N – довжина часового ряду, α – параметр згладжування ($\alpha = 1 - \beta$), $e(t)$ – помилка прогнозування рівня $Y(t)$, обчислена в момент часу $(t - 1)$ на один крок вперед.

Етап 5. За моделлю зі скоректованими параметрами A_0 і A_1 знаходять прогноз на наступний момент часу. Повертаються до пункту 3, якщо $t < N$. Якщо $t = N$, то побудовану модель можна використовувати для прогнозування на майбутнє.

Таблиця 4

Прогноз вантажопотоку в разі лінійного тренда на 2010 р. поквартально

Параметр згладжування = 0,4			A_0	A_1	Розрахункове значення	$e(t)$
Рік	Квартал	Фактичне значення	11034,6	1321,4		
2005	1	10 055	11 527,64	493,04	12 356	- 2301
	2	15 053	13 112,32	1584,6752	12 021	3032,32
	3	16 639	15 396,11	2283,7987	14 697	1942,01
	4	18 117	17 837,26	2441,1502	17 680	437,0875
2006	5	15 130	18 424,99	587,72105	20 278	- 5148,41
	6	16 559	18 129,37	- 295,6131	19 013	- 2453,71
	7	17 415	17 683,01	- 446,3663	17 834	- 418,759
	8	19 521	18 059,01	376,00355	17 237	2284,361
2007	9	14 716	17 096,17	-962,841	18 435	- 3719,01
	10	17 935	16 781,93	- 314,2388	16 133	1801,673
	11	21 001	18 099,68	1317,7526	16 468	4533,309
	12	24 689	21 315,2	3215,5162	19 417	5271,565
2008	13	19 638	22 769,34	1454,139	24 531	- 4892,71
	14	23 991	24 139,78	1370,4476	24 223	- 232,476
	15	25 036	25 339,51	1199,724	25 510	- 474,232
	16	23 326	25 382,47	42,960198	26 539	- 3213,23
2009	17	19 638	23 341,95	- 2040,514	25 425	- 5787,43
	18	23 991	22 269,68	- 1072,273	21 301	2689,56
	19	25 036	22 579,3	309,61995	21 197	3838,591
	20	23 326	23 046,27	466,96813	22 889	437,0783
2010	21	Прогноз на 2010 р. поквартально	1 квартал		23 513	Фактично
	22		2 квартал		23 980	
	23		3 квартал		24 447	
	24		4 квартал		24 914	
Загальний прогноз на 2009 р. =					90 813	91 991
Загальний прогноз на 2010 р. =					96 855	?

На останньому кроці отримана модель $Y_p(N+k) = 23\,046,27 + 446,96813k$.

Прогнозні оцінки:

Прогнозна похибка		Нижня границя	Верхня границя
$U(1)$	1499,092	22 014,15	25 012,33
$U(2)$	1673,033	22 307,17	25 653,24

$U(3)$	1847,189	22 599,99	26 294,36
--------	----------	-----------	-----------

Етап 6. Інтервальний прогноз будується як для лінійної моделі кривої зростання за формулою:

$$U(k) = \sigma_y \cdot t_{\alpha} \cdot \sqrt{1 + \frac{1}{N} + \frac{(N+k-t_{\alpha})^2}{\sum (t_{\alpha} - t_{\alpha})^2}}$$
, де σ_y – середнє квадратичне відхилення апроксимації, t_{α} – табличне значення критерію Стюдента із заданим рівнем значущості.

Результати апроксимації вантажопотоку через митний пост “Ужгород” прогнозної моделі Брауна за 2005–2010 рр. поквартально відображено на рис. 7. Параметр згладжування $\alpha = 0,4$ знайдено ітераційним шляхом, підбиранням відповідності прогнозного значення вантажопотоку на 2009 р. (90 813 одиниць) до фактичного (91 991 одиниця).

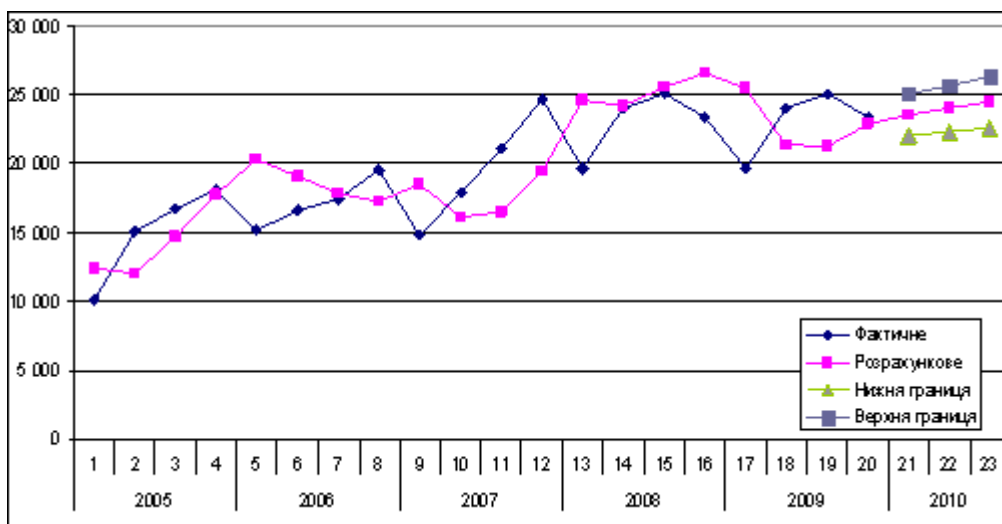


Рис. 7. Розрахунок параметрів вантажопотоку прогнозної моделі Брауна за 2005–2010 рр. поквартально

Висновок. Отже, метод експоненціального згладжування як один з методів прогнозування дозволяє одержувати оцінку параметрів тренда, який характеризує тенденцію, що склалася на момент останнього досліджу, і може використовуватися при прогнозуванні вантажопотоку для вдосконалення планування роботи митних підрозділів під час оформлення вантажів і прогнозування надходжень до бюджету України. Аналіз вантажопотоку свідчить про його чітко виражений сезонний характер, тому подальший напрямок дослідження полягає у створенні прогнозної моделі з урахуванням сезонної складової та перевірки її на адекватність.

Література

1. Назаренко В. М. Транспортное обеспечение внешнеэкономической деятельности [Текст] / В. М. Назаренко, К. С. Назаренко. – М. : Центр эконом. и маркетинга, 2000. – 512 с.
2. Шабельников В. А. Анализ и разработка методов прогнозирования тенденций изменения грузопотока в транспортной системе [Текст] / В. А. Шабельников, А. А. Сычев // Изв. вузов Сев.-Кавк. регион. Техн. науки (приложение). – 2007. – № 4. – С. 56–59.
3. Халіпова Н. В. Дослідження тренд-сезонних процесів під час аналізу вантажопотоків зовнішньоекономічної діяльності [Текст] / Н. В. Халіпова, І. Ю. Леснікова // Вісник АМСУ. – 2009. – № 2. – С. 88–94.
4. Бережная Е. В. Математические методы моделирования экономических систем [Текст] : учеб. пособие / Е. В. Бережная, В. И. Березной. – М. : Финансы и статистика, 2001. – 368 с.
5. Кігель В. Р. Методи і моделі підтримки прийняття рішень у ринковій економіці [Текст] / В. Р. Кігель. – К. : ЦУЛ, 2003. – 202 с.
6. Колемаев В. А. Эконометрика [Текст] : учебник / В. А. Колемаев. – М. : ИНФРА-М, 2004. – 150 с.
7. Экономико-математические методы и прикладные модели [Текст] : учеб. пособие для вузов / В. В. Федосеев, А. Н. Гармаш, Д. М. Дайитбергов и др. – М. : ЮНИТИ, 1999. – 391 с.