

УДК 656.025.4

Н. В. Халіпова, кандидат технічних наук,
доцент кафедри транспортних систем
та технологій Академії митної служби України
І. Ю. Леснікова, кандидат технічних наук,
доцент кафедри транспортних систем
та технологій Академії митної служби України
О. С. Громко, інспектор митної служби
МП "Іллічівськ" Південної митниці

ПРОГНОЗУВАННЯ КОНТЕЙНЕРПОТОКУ В МІЖНАРОДНОМУ ТОРГОВЕЛЬНОМУ ПОРТУ "ОДЕСА" З УРАХУВАННЯМ СЕЗОННОСТІ ПРОЦЕСІВ НА ОСНОВІ АНАЛІЗУ ФУР'Є

У статті запропоновано методологічний підхід до аналізу регулярних коливань вантажопотоків з метою їх подальшого прогнозування за допомогою гармонійного аналізу Фур'є. Проведено аналіз зовнішньоторговельних контейнерних вантажопотоків на прикладі Одеського морського торговельного порту.

В статтє предложен методологический подход к анализу регулярных колебаний грузопотоков для их дальнейшего прогнозирования с использованием гармонического анализа Фурье. Проведен анализ внешнеторговых контейнерных грузопотоков на примере Одесского морского торгового порта.

In the article, there is offered a methodological approach to the analysis of regular oscillations of cargo traffic for their further prediction with the help of Fourier harmonic analysis. There is carried out analysis of foreign economic container cargo traffic by the example of Odessa Sea Trade Port.

© Н. В. Халіпова, І. Ю. Леснікова, О. С. Громко, 2010

Ключові слова. Сезонні та циклічні коливання вантажопотоку, прогноз вантажопотоку, аналіз Фур'є динамічного ряду.

Вступ. Прогнозування вантажопотоків у зовнішньоекономічній діяльності є однією зі складних проблем, оскільки на їх обсяг впливає велика кількість факторів. При побудові математичної моделі необхідно виявити і врахувати дію чинників, що суттєво впливають на досліджуваний процес і піддаються кількісному виміру [1].

Аналізуючи динаміку процесів, слід урахувувати вплив нерегулярних коливань, які можуть виникнути в результаті спорадичних подій і випадкових коливань, викликаних великою кількістю несуттєвих чинників. Вплив еволюційного чинника виявляється в загальній тенденції розвитку та характеризується за допомогою різних трендових моделей, а осцилятивний чинник впливає на циклічні й сезонні коливання та визначається за допомогою різних математичних критеріїв.

Циклічні коливання полягають у тому, що значення ознаки в певний період часу зростає, досягаючи максимуму, а потім знижується і досягає мінімуму, знов зростає до колишнього значення і т. д. Зазвичай спостерігаються коливальні процеси з яскраво вираженими циклами: місячними, квартальними і 21-тижневими, тижневими.

Якщо коливання мають близький до періодичного характер і відбуваються протягом року, то їх зараховують до сезонних коливань. Модифікацією сезонних коливань є циклічні, які пов'язані із загальною динамікою кон'юнктури ринку і відбивають зовнішні економічні зміни, що діють на суб'єкт господарювання протягом тривалого часу, наприклад зміна цін на сировину на світових ринках. Циклічні коливання не такі передбачувані, як сезонні, але до них застосовні ті ж методи аналізу і прогнозування.

Попередній аналіз часових рядів економічних показників полягає у виявленні й вилученні аномальних значень рівнів ряду і визначенні наявності тренда в вихідному ряді. Після виключення тренда з початкового ряду перевіряється гіпотеза про наявність у початковому часовому ряду сезонних коливань. Ряд залишків перевіряється на випадковість за допомогою одного з альтернативних критеріїв – дисперсійного, гармонійного або критерію, що ґрунтується на порівнянні розподілу коефіцієнта автокореляції з розподілом циклічного коефіцієнта автокореляції.

Нині розвиваються три напрями фільтрації компонент часового ряду з адитивним зв'язком між компонентами: регресійні, ітераційні і спектральні.

Для виявлення наявності тренда в часовому ряді може застосовуватися метод Гостера–Стюарта, для виділення компонент часового ряду – метод Четверикова [2]. Такий підхід програмно реалізований у середовищі електронних таблиць MS Excel. Порівняльний аналіз прогнозних моделей вантажопотоків зовнішньоекономічної діяльності наведено в [3].

Переваги регресійних методів полягають у тому, що вони дозволяють отримати аналітичні вирази функцій, котрі апроксимують тренд і сезонну компоненту. Зазвичай тренд апроксимують поліномом. Надалі отримані функції можна використовувати для прогнозування як окремих компонент часового ряду, так і часового ряду в цілому.

Для визначення наявності сезонних і циклічних коливань у досліджуваному процесі можна використовувати гармонійний критерій, що ґрунтується на аналізі коефіцієнтів Фур'є [1]. Аналіз за допомогою гармонійного критерію найрезультативніший, оскільки даний критерій дозволяє виділити коливання різного періоду.

Часовий ряд можна зобразити в адитивній і мультиплікативній формі. Якщо амплітуда сезонної хвилі відносно постійна, то часовий сезонний ряд можна зобразити у вигляді адитивної моделі; якщо сезонні коливання пропорційні середньому значенню, то можливе використання мультиплікативної моделі.

Можна відобразити тренд-сезонний часовий ряд адаптивними моделями, вони відбивають змінний характер сезонної хвилі. Адаптивні моделі дозволяють урахувувати різну інформаційну цінність рівнів часового ряду. Інструментом прогнозу в адаптивних моделях є математична модель з єдиним чинником – часом. Дані моделі використовуються для прогнозування одновимірних часових рядів у моделюванні динаміки процесу, обумовленої впливом на нього сукупністю зовнішніх чинників.

Постановка завдання. Аналіз міжнародного контейнерного вантажообігу за останні 10 років показує, що

в цілому зростання рівня контейнеризації – світова тенденція. Тенденції світового контейнерного ринку помітні і в Україні.

Оскільки через територію України проходить ряд міжнародних транспортних коридорів, наша країна вельми приваблива для перевезень транзитних вантажів у напрямі Європа – Азія і Північ – Південь. Таким чином, стрімке зростання світового зовнішньоторговельного обороту визначає головні напрями розвитку українського транспортно-логістичного ринку. У першу чергу це стосується мультимодальних контейнерних і контрейлерних маршрутів у рамках міжнародних транспортних коридорів, таких як Північне море, Балтика – Чорне море, ТРАСЕКА, Європа – Азія, “шовковий шлях” [4–8].

Передбачення, контроль та зменшення негативної дії факторів, які впливають на вантажообіг, можливе за умов аналізу та прогнозування вантажопотоків у зовнішньоекономічній діяльності.

Мета дослідження полягала у покращанні методів урахування сезонних коливань вантажопотоків задля їх подальшого прогнозування. Запропоновано методологічний підхід, що включає вдосконалену модель прогнозування вантажопотоків за допомогою гармонійного аналізу Фур'є.

Проведено аналіз зовнішньоторговельних контейнерних вантажопотоків на прикладі Одеського морського торговельного порту. Умовні вихідні дані про кількість контейнерів (штук), оформлених в одеському порту протягом 2005–2009 рр. за місяцями, наведено в табл. 1.

Таблиця 1

Умовні дані про кількість контейнерів, шт.

Місяць/Рік	2005	2006	2007	2008	2009
1	812	1779	3179	2338	1202
2	1425	2602	3471	4415	1356
3	2344	2612	4303	4391	1411
4	2231	3128	3971	4642	1644
5	1540	3500	4611	4674	1235
6	1903	3886	5333	5079	1553
7	2129	3883	5828	5169	2478
8	2615	3960	5650	5507	2363
9	2736	4107	6055	5501	2399
10	2369	3043	6347	5765	2336
11	2427	4430	4796	4162	1781
12	2752	4514	4754	4074	2606

На першому етапі аналізу виявлено та видалено аномальні значення рівнів ряду у вихідному часовому ряді (значення 2-го та 11-го місяців 2008 р.) за критерієм Ірвіна. На другому етапі виявлено тренд у вихідному часовому ряді за методом Фостера–Стюарта. Окрім тренда самого ряду (тренда в середньому), встановлено наявність тренда дисперсії часового ряду при рівні значущості $\alpha = 0,05$, тобто з довірчою вірогідністю 0,95.

Для визначення і прогнозування сезонних і циклічних економічних процесів використовувався метод гармонійного аналізу з використанням рядів Фур'є. Для розрахунку й аналізу сезонної та циклічної складових створено програму в середовищі електронних таблиць MS Excel.

Відомо, що довільну функцію можна розкласти в нескінченний ряд Фур'є:

$$f(t) = \frac{1}{2} a_0 + \sum_{j=1}^{\infty} (a_j \cos \omega_j t + b_j \sin \omega_j t), \quad \omega_j = \frac{2\pi j}{T}. \quad (1)$$

Для цього достатньо, щоб функція на інтервалі від $-\pi$ до π була однозначною, безперервною і мала скінченну кількість точок максимуму і мінімуму.

Розглянемо застосування аналізу Фур'є, щоб виявити циклічну й сезонну компоненти для контейнеропотоків в одеському порту. Модель, що дозволяє описати ряд, який містить циклічні та сезонні коливання, відповідає формулі (1). Параметри даної моделі визначаються за методом найменших квадратів з використанням електронних таблиць MS Excel та вбудованої надбудови MS Excel “Аналіз Фур'є” для ряду, кількість рівнів якого відповідає степеню числа 2, тобто 4, 8, 16, 32, 64 і т. д.

Алгоритм методу містить кілька етапів.

Етап 1. Підбираємо до вихідного ряду тренд.

Етап 2. Від вихідного ряду віднімаємо значення тренда й отримуємо залишки, які включають сезонну та випадкову компоненти.

Етап 3. За допомогою вбудованого в MS Excel інструмента аналізу “Аналіз Фур'є” та інженерних функцій для отриманих на попередньому етапі розрахунку залишків слід визначити й виділити дійсну та уявну частини. Позначаємо виявлену дійсну частину як y_d , уявну – y_m .

4. Визначаємо коефіцієнти моделі (1). Коефіцієнти a_k для чотирьох гармонік мають вигляд:

$$a_0 = \frac{y_{d_1}}{N}; \quad a_1 = \frac{y_{d_2}}{N}; \quad a_2 = \frac{y_{d_3}}{N}; \quad a_3 = \frac{y_{d_4}}{N}; \quad a_4 = \frac{y_{d_5}}{N}. \quad (2)$$

Коефіцієнти b_k :

$$b_1 = \frac{Y_{m_1}}{N}; b_2 = \frac{Y_{m_2}}{N}; b_3 = \frac{Y_{m_3}}{N}; b_4 = \frac{Y_{m_4}}{N}. \quad (3)$$

5. Переводимо лінійну змінну $t = 1, 2, 3, \dots, 32$ в радіальну:

$$\tau = \frac{2\pi \cdot t}{N}. \quad (4)$$

Результати дослідження. Для аналізу вибираємо період з січня 2005 р. до квітня 2010 р. (64 місяці). На рис. 1 зображено динаміку зміни значень контейнеропотоку за цей період.

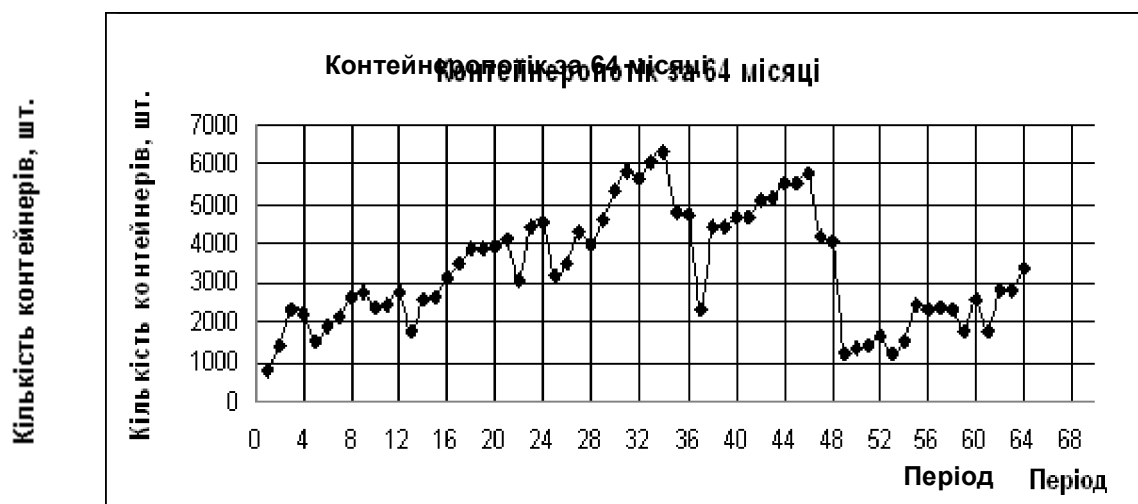


Рис. 1. Контейнеропотік за період з 2005 до 2010 рр.

Якщо розбити цей проміжок часу на невеликі періоди, то побачимо, що закономірності їх зростання для 2005–2007 рр. описуються лінійним трендом (рис. 2), для 2007–2008 рр. – поліномом шостого порядку (рис. 3), а для 2009–2010 рр. – також лінійним трендом (рис. 4). При цьому перший та останній періоди мають майже однакову тенденцію зростання, а перелом у 2008 р. пояснюється початком світової економічної кризи. Оскільки необхідно спрогнозувати значення контейнеропотоків з урахуванням циклічно-сезонної складової, то проаналізуємо стійкі тенденції без урахування кризового періоду.

Для аналізу сезонної складової за допомогою рядів Фур'є періоду 2005–2007 рр. необхідно врахувати часовий ряд довжиною 32 рівні (рис. 2). Для аналогічного аналізу сезонної складової за період 2009–2010 рр. необхідно врахувати часовий ряд довжиною 16 рівнів (рис. 4).



Рис. 2. Контейнеропотік за період з 2005 до 2007 рр.

Кількість контейнерів, шт.



Рис. 3. Контейнеропотік за період з 2007 до 2008 рр.

Кількість контейнерів, шт.



Рис. 4. Контейнеропотік за період з 2009 до 2010 рр.

У результаті розрахунків гармонік Фур'є за період 2005–2007 рр. отримано сезонну складову, зображену на рис. 5.

Кількість контейнерів, шт.

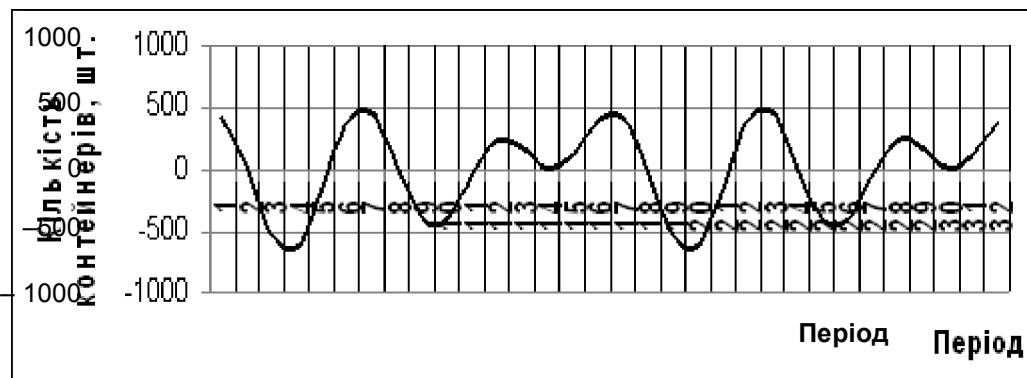


Рис. 5. Графічна інтерпретація результатів моделювання часового ряду за допомогою аналізу Фур'є (період 2005–2007 рр.)

Розрахунок гармонік Фур'є за період 2009–2010 рр. дає сезонну складову, зображену на рис. 6.

Кількість контейнерів, шт.

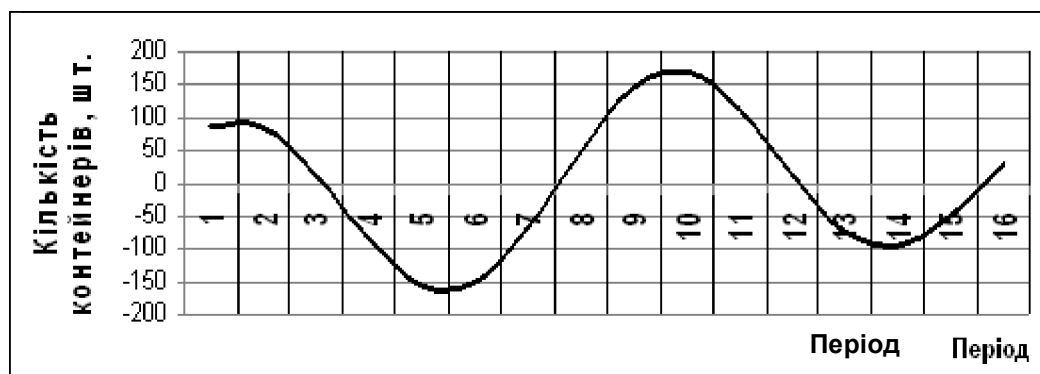


Рис. 6. Графічна інтерпретація результатів моделювання часового ряду за допомогою аналізу Фур'є (період 2009–2010 рр.)

У табл. 2 наведено прогнозований обсяг контейнеропотоку на 2010 р. за методом Фур'є, розрахований на

основі статистичних даних про контейнеропотік за 2009 р. та за перші чотири місяці 2010 р.

Таблиця 2

Прогнозовані значення за методом Фур'є

Рік	Фактичні значення	t	Тренд	Сезонна компонента	Розраховані значення
2009	1202	1	1206	40,21949	1246,22
	1356	2	1321	- 77,7173	1243,28
	1411	3	1436	- 99,2932	1336,71
	1644	4	1551	- 15,7515	1535,25
	1235	5	1666	66,77713	1732,78
	1553	6	1781	65,51029	1846,51
	2478	7	1896	- 6,66983	1889,33
	2363	8	2011	- 44,7333	1966,27
	2399	9	2126	- 149,466	1976,53
	2336	10	2241	47,20702	2288,21
	1781	11	2356	178,5686	2534,57
	2606	12	2471	91,31701	2562,32
2010	1758	13	2586	40,21949	2626,22
	2808	14	2701	- 77,7173	2623,28
	2823	15	2816	- 99,2932	2716,71
	3365	16	2931	- 15,7515	2915,25
	-	17	3046	66,77713	3112,78
	-	18	3161	65,51029	3226,51
	-	19	3276	- 6,66983	3269,33
	-	20	3391	- 44,7333	3346,27
	-	21	3506	- 149,466	3356,53
	-	22	3621	47,20702	3668,21
	-	23	3736	178,5686	3914,57
	-	24	3851	91,31701	3942,32

Ця модель адитивна, її похибка становить 432 контейнери.

Треба зауважити, що вихідні дані мають значний розкид. Оцінка випадкової складової при розрахунках із застосуванням аналізу Фур'є дає максимальне значення впливу інших неврахованих факторів 32 % та в середньому 12 %.

Верифікація прогнозованих обсягів оформлених контейнерів в одеському морському порту з початку 2010 р. показує, що відхилення прогнозу не перевищує 6 %.

З отриманих прогнозних значень видно, що контейнеропотоки і надалі зростатимуть, зберігаючи при цьому невеликі коливання в певних місяцях року.

Висновки. Актуальність дослідження визначається постійним зростанням контейнеропотоків та глобальною світовою тенденцією до контейнеризації товарних потоків. Ураховуючи також вигідне для транзиту розташування України та обмежені на даний час пропускні здатності об'єктів її транспортно-логістичної інфраструктури, відзначаємо необхідність планування і прогнозування обсягів робіт таких об'єктів.

Запропоновані підходи дозволяють здійснювати короткострокові прогнози на певний період часу та планувати обсяги необхідних переробних потужностей приймальних станцій порту, в тому числі чисельність персоналу, техніки. З огляду на перспективи розвитку контейнерних і контейнерних поїздів стане можливим більш раціональне формування поїздів, передбачення необхідної кількості платформ для перевезень контейнерів та забезпечення максимально можливого завантаження рухомого складу.

Результати дослідження можуть бути використані під час планування роботи митного підрозділу та прогнозування його діяльності, а також для впровадження найбільш ефективних напрямків у транспортно-митних технологіях.

Тренд, сезонна і циклічна компоненти – це регулярні, або систематичні, компоненти часового ряду. Складовою частиною часового ряду, що залишається після виділення з нього регулярних компонент, є випадковою, нерегулярною компонентою. Вона входить обов'язковою складовою частиною до будь-якого часового ряду в економіці, оскільки випадкові відхилення неминуче супроводять будь-яке економічне явище. Якщо систематичні компоненти часового ряду визначено правильно, що якраз і становить одну з головних цілей під час розробки трендових моделей, то після виділення з часового ряду цих компонент ряд залишків матиме такі властивості:

- випадковість коливань рівнів залишкової послідовності;
- відповідність розподілу випадкової компоненти нормальному закону розподілу;
- рівність математичного сподівання випадкової компоненти нулю;
- незалежність значень рівнів випадкової послідовності, тобто відсутність істотної автокореляції.

Перевірка адекватності трендових моделей ґрунтується на перевірці виконаності в залишковій послідовності зазначених чотирьох властивостей. Якщо не виконується хоча б одна з них, модель визнається неадекватною; при виконанні всіх чотирьох властивостей модель адекватна. У подальшому саме питанням перевірки адекватності пропонованих моделей необхідно приділити увагу.

Література

1. Шабельников В. А. Анализ и разработка методов прогнозирования тенденций изменения грузопотока в транспортной системе / В. А. Шабельников, А. А. Сычев // Изв. вузов Сев.-Кавк. регион. Техн. науки (приложение). – 2007. – № 4. – С. 56–59.
2. Халіпова Н. В. Дослідження тренд-сезонних процесів під час аналізу вантажопотоків зовнішньоекономічної діяльності / Н. В. Халіпова, І. Ю. Леснікова, А. В. Безрукова // Вісник АМСУ. – 2009. – № 2. – С. 88–94.
3. Леснікова І. Ю. Порівняльний аналіз прогнозних моделей вантажопотоків зовнішньоекономічної діяльності / І. Ю. Леснікова, Н. В. Халіпова // Вісник Академії митної служби України. Серія: “Технічні науки”. – 2010 – № 3.
4. Корниенко В. Состояние и перспективы контейнерных перевозок в Украине / В. Корниенко // Економіст. – 2003. – № 6. – С. 34–36.
5. Кулах Ю. Транзитні зв'язки України і МТК / Ю. Кулах // Економіст. – 2002. – № 1. – С. 50–57.
6. Одесский порт: лидерство обязывает // Транспорт. – 2004. – № 11. – С. 63–67.
7. Оцінка процесу оформлення імпорتنих/експортних операцій: ДП “Одеський морський торговельний порт” / за ред. Ф. Й. Фархат, В. Дорошенко. – К. : USAID&LINC UKRAINE, 2009. – 295 с.
8. Бакаев А. А. Международные транспортные коридоры Украины: сети и моделирование / Бакаев А. А. и др. – К. : КУЭТТ, 2003. – Т. 1. – 516 с.