

## УДОСКОНАЛЕННЯ НАУКОВОГО ПІДХОДУ ДО ПРОГНОЗУВАННЯ ТА ПОБУДОВИ МОДЕЛЕЙ ТРАНСПОРТНИХ ПОТОКІВ

*При дослідженні транспортних потоків спостерігаються коливання вантажопотоків, які найчастіше зумовлені сезонністю перевезень. При аналізі таких коливань для наочності застосовують графіки та діаграми, що характеризують зміни обсягів перевезень протягом певного періоду. Таким змінам притаманна календарна циклічність.*

*Сезонні варіації змін обсягів перевезень характеризуються відносно стабільною формою, яка має річну циклічність. Такі зміни можуть бути наслідками впливу природних умов або повторенням календарно залежних подій в різних країнах. Але на коливання інтенсивності вантажопотоків впливають не тільки сезонність, а й різні зовнішні чинники як то квотування, падіння попиту, торговельні й політичні конфлікти тощо.*

*В роботі розглядаються методи дослідження сезонних коливань інтенсивності вантажопотоків на прикладі відвантаження експортного металопрокату.*

*Державні структури, які постійно аналізують сезонні коливання, використовують програмні продукти ЄС з урахуванням різних коригуючих коефіцієнтів. Для більш точних показників коливання вантажопотоків виконують аналіз середньодобових показників, але вони не завжди дозволяють масштабю сприйняти матеріал досліджень.*

*Запропоновано для дослідження інтенсивності коливань вантажопотоків використовувати коефіцієнт, який враховує фактичні дані з виконаних перевезень, кількість календарних днів і за рік і за місяць. Для обробки даних застосовано метод календарного дефлятування, який дозволяє наочно побачити коливання середньодобових обсягів відвантаження експортної металопродукції протягом року.*

*Для досліджень транспортних потоків пропонується двоетапна модель календарної дефляції та поліноміальної апроксимації, яку можна використовувати для планування оперативної роботи, визначення потрібної кількості вагонів для організації перевезень та коригування планів регламентних робіт із рухомим складом.*

*При математичному дефлятуванні часових рядів можливо трансформувати аналітичні дані у предиктивну модель логістики, що дозволить підвищити точність планування на 9% та запобігти дефіциту потужностей у пікові періоди.*

*Запропонована на основі полінома 5-го ступеня модель не статична, а є базовим профілем, який легко адаптувати до прогнозних річних обсягів через коефіцієнти масштабування. У виробничій діяльності це дозволить диспетчерським службам оперативно розраховувати добову потребу в рухомому складі, зберігаючи виявлену структуру сезонного попиту.*

**Ключові слова:** транспортні потоки, дослідження, сезонні коливання, вантажопотік, інтенсивність, методи, коефіцієнти, дефлятування, апроксимація, модель.

**Постановка проблеми.** В процесі дослідження транспортних потоків нерідкою є ситуація пояснення коливань обсягів перевезень певної продукції, обумовлених сезонністю попиту на неї. Поширеним методом аналізу аналітичних матеріалів є представлення даних у вигляді графіків та діаграм, які показують помісячну зміну обсягів цих перевезень.

Сезонними варіаціями є зміни обсягів перевезень з відносно стабільною формою, що має річну циклічність. Сезонні зміни можуть бути наслідками впливу природних умов, або повторення календарно залежних подій в різних країнах.

В якості прикладу показаний фрагмент графіка щомісячного виробництва сталі за даними 65 країн світу [1], на якому кожен рік спостерігаються стрибки інтенсивності у перший місяць, падіння – у другому, подальше наростання та певна стабілізація місячних обсягів з суттєвим їх зниженням наприкінці двох останніх місяців.

Поруч із сезонністю, на процеси виробництва, та, відповідно, інтенсивність вантажопотоків можуть впливати безліч зовнішніх чинників.

У 2019 році спад був обумовлений ескалацією торгового конфлікту США і Китаю, коли лише наприкінці року з'явилися шляхи вирішення проблеми. Запровадження квот на сталь в ЄС призвело до зниження споживання сталі в Європі. Також негативно вплинуло зниження споживання світових автовиробників [2].

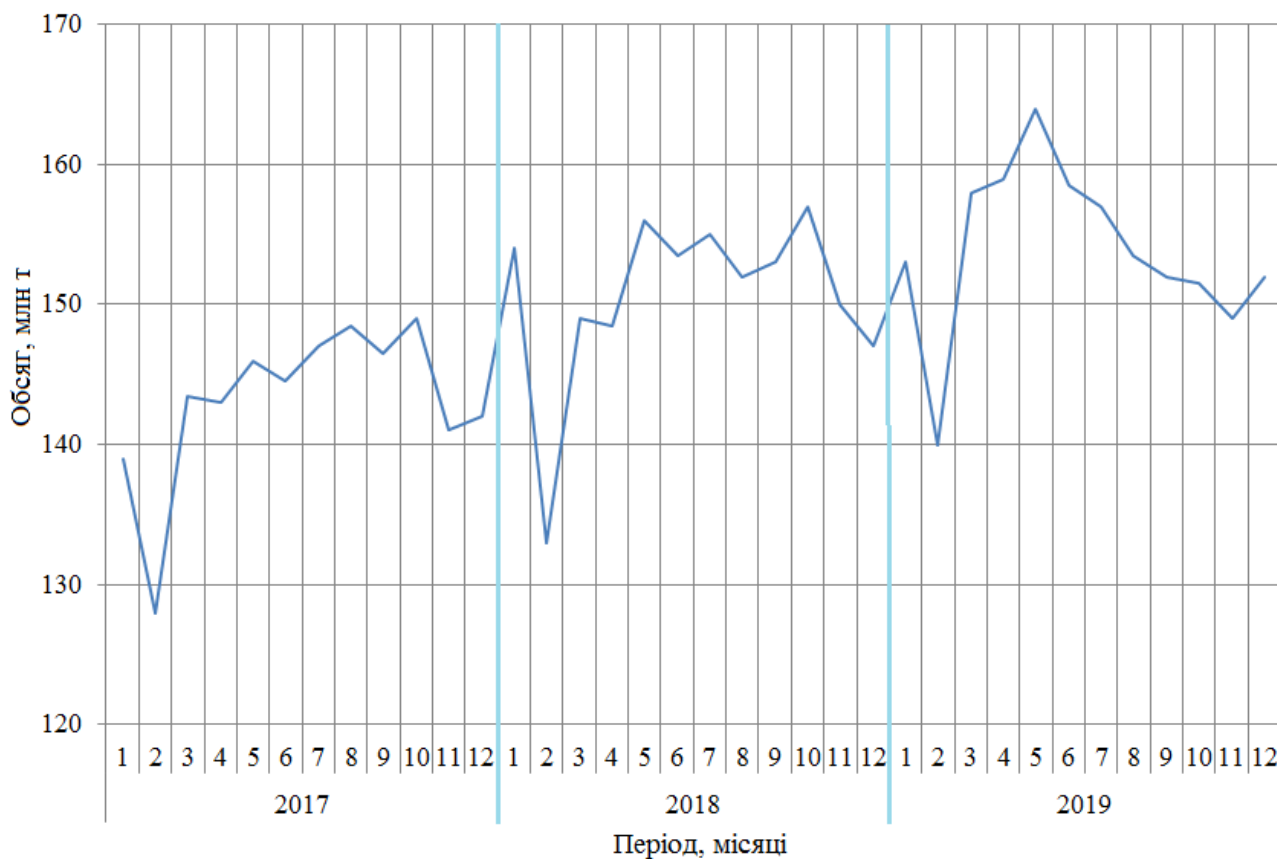


Рисунок 1 – Фрагмент графіка щомісячного виробництва сталі за даними 65 країн світу

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Державна служба статистики України у факторному аналізі сезонних коливань використовує аналітичний пакет Demetra+, який дозволяє виконувати коригування статистичних даних із урахуванням сезонних коливань та яке прийнято за базове програмне забезпечення країнами ЄС. При врахуванні сезонної та іншої специфіки використовують коригуючі коефіцієнти, зокрема, співвідношення усередненої кількості діб у місяці - 30,4375 до їх фактичної кількості [3].

Питання врахування календарних ефектів та сезонної складової у часових рядах є достатньо дослідженими, зокрема доведено необхідність коригування статистичних даних для підвищення точності аналізу та прогнозування [4, 5, 6]. Сучасні підходи до моделювання

часових рядів передбачають використання методів декомпозиції та врахування впливу зовнішніх факторів, що дозволяє підвищити якість прогнозування.

У сфері транспортної логістики значна увага приділяється прогнозуванню вантажопотоків та адаптації моделей до змінних умов функціонування транспортних систем. Теоретичні та прикладні аспекти інтелектуалізації логістичного управління, зокрема використання сучасних методів аналізу та оптимізації потоків, розглянуто у фундаментальних дослідженнях [7]. Окремі наукові дослідження присвячено прогнозуванню транспортно-логістичних потоків із урахуванням змінного контексту функціонування систем, що підтверджує доцільність адаптації моделей до умов невизначеності [8].

Дослідження також підтверджують доцільність урахування сезонних коливань при розподілі рухомого складу та плануванні перевезень [9], а також необхідність застосування інформаційних технологій управління вантажними перевезеннями в умовах невизначеного попиту [10]. Водночас питання підвищення ефективності експлуатаційної роботи залізничного транспорту на основі предиктивної аналітики також знайшли відображення у відповідних наукових працях [11].

Разом з тим, існуючі дослідження недостатньо повно враховують можливості поєднання методів календарного коригування та апроксимаційних підходів для моделювання сезонних коливань транспортних потоків. Це обумовлює актуальність подальших досліджень у напрямі побудови більш точних моделей, здатних враховувати як сезонні, так і випадкові складові динаміки вантажопотоків.

**Мета дослідження.** Метою статті є удосконалення наукового підходу до прогнозування та побудови моделей транспортних потоків на основі двоетапного методу календарної дефляції та поліноміальної апроксимації вантажопотоків для врахування сезонності коливань при плануванні оперативної роботи, визначенні потрібної кількості вагонів для організації перевезень і уточнення планів регламентних робіт із рухомим складом.

**Основний матеріал дослідження.** Для того, щоб уникнути хибних уявлень зміни інтенсивності вантажопотоків, застосовують метод аналізу середньодобових вагонопотоків, але при цьому дещо втрачається масштаб сприйняття досліджуваного матеріалу. Пропонується використовувати переводний коефіцієнт виду:

$$Q_z = \frac{Q_m N_p}{12 N_m}, \quad (1)$$

де  $Q_z$  – обсяг перевезень, який відображається на графіку, т/місяць;

$Q_m$  – фактичні дані перевезень, т/місяць;

$N_p$  – кількість календарних днів у році;

$N_m$  – кількість днів у місяці.

На рисунку 2 показані дані перевезень металопродукції з України на експорт залізничним транспортом у передвоєнний рік.

Червоним кольором показаний вихідний графік фактичних обсягів перевезень, а синім кольором показаний цей же графік, оброблений методом календарного дефлятування за формулою (1). Слід відмітити, що останній, зокрема, наочно показує перевищення середньодобового відвантаження у лютому у порівнянні із січнем.

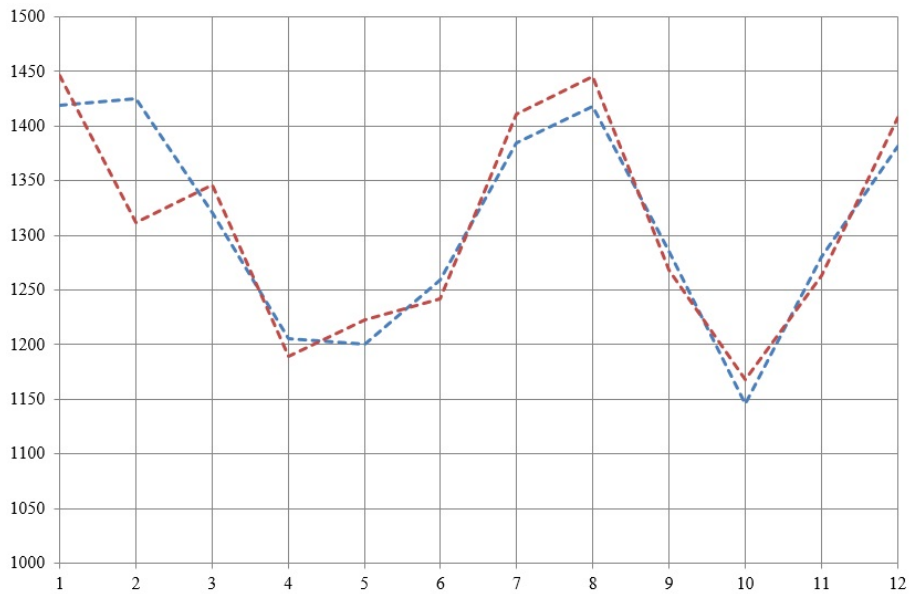


Рисунок 2 – Графіки обсягів місячних перевезень, тис т/міс

Сезонні коливання транспортних потоків пояснюються сезонністю будівництва в ЄС та на Близькому Сході, оскільки пік споживання металопродукції, зазвичай, припадає на літо та ранню осінь. Саме цим більшою мірою пояснюються спади в березні-квітні та вересні-листопаді. Сезонність Близького Сходу визначається не лише погодою, а й релігійним календарем (зокрема, Рамадан у досліджуваному періоді припадав на період з середини квітня по середину травня). На динаміку перевезень впливає також режим квотування в ЄС, яка передбачає квартальні ліміти на ввезення сталі.

При поліноміальній апроксимації високого порядку для графіку фактичних даних отримано функцію, яка показана на рисунку 3:

$$y = 0,1947x^5 - 5,7395x^4 + 58,949x^3 - 243,74x^2 + 327,96x + 1299,1.$$

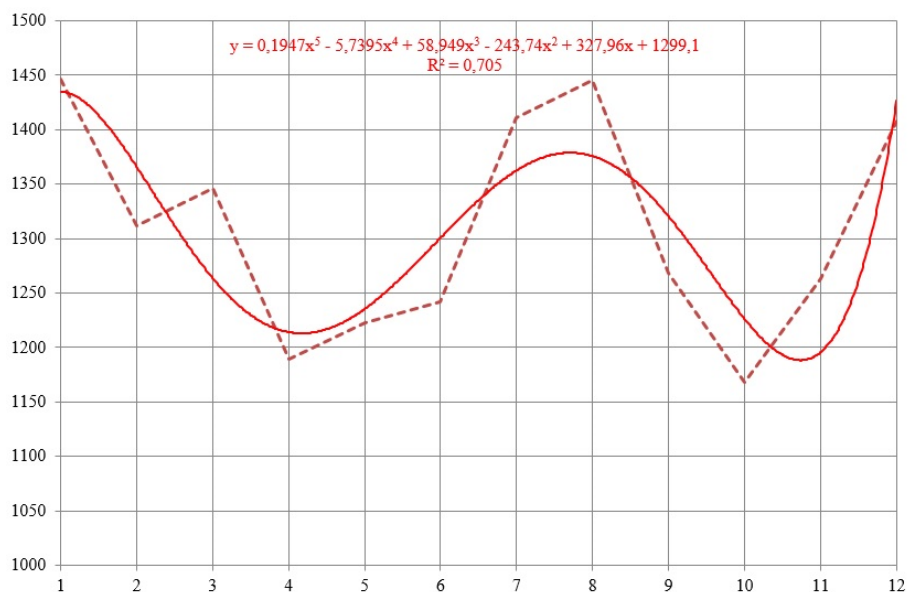


Рисунок 3 – Прогнозна функція для фактичних даних

При поєднанні календарного дефлятування з поліноміальною апроксимацією високого порядку отримано функцію, наведену на рисунку 4:

$$y = 0,2366x^5 - 7,2878x^4 + 79,99x^3 - 370,71x^2 + 645,24x + 1077,7.$$

Обидві функції є поліномами 5-го порядку. Величина достовірності апроксимації для функції на рисунку 3 ( $R^2=0,7711$ ) показує більш тісний зв'язок із вихідними даними, ніж функція на рисунку 2 ( $R^2=0,705$ ), що також підтверджується візуальним аналізом.

Представлені поліноми високого ступеня не доцільно використовувати для прогнозування на наступний період (аргумент обмежуємо значеннями від 1 до 12), але, якщо припускається, що сезонні коливання у наступному році зберігають свою форму при певній зміні загального річного обсягу вантажоперевезень, можна використати дану функцію із відповідним коригуючим коефіцієнтом до її складових.

Для наведеного прикладу похибка в річному обсязі перевезень у порівнянні з фактичними даними складає 0,0277%, що є припустимою математичною похибкою трансформації даних, яка дозволяє виявити приховану динаміку, яку маскує календарний ефект.

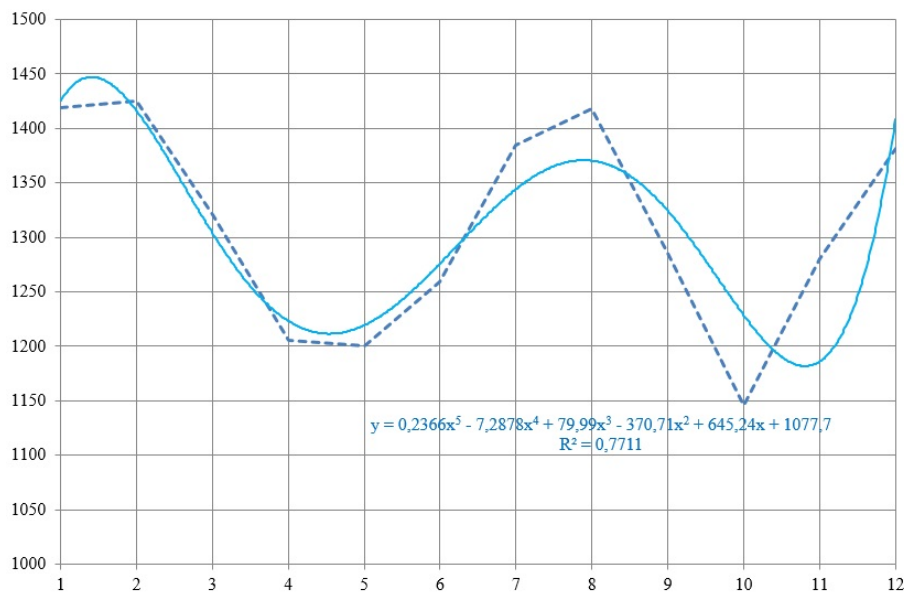


Рисунок 4 – Прогнозна функція для оброблених даних

Для стратегічного планування на 2-3 роки вперед краще використовувати періодичні функції, які дозволяють моделювати інтенсивність залізничних перевезень попри календарні аномалії чи тимчасові кризи.

## ВИСНОВКИ

Запропонована двоетапна модель календарної дефляції та поліноміальної апроксимації транспортних потоків може бути використана для планування оперативної роботи, визначення потрібної кількості вагонів для організації перевезень і уточнення планів регламентних робіт із рухомим складом.

Математичне дефлятування часових рядів дозволяє трансформувати аналітичні дані у предиктивну модель логістики, підвищує точність планування на 9% (згідно з показником  $R^2$ )

та запобігає дефіциту потужностей у пікові періоди.

Запропонована на основі полінома 5-го ступеня модель не є статичною, а служить базовим профілем, який може бути легко адаптованим до прогнозних річних обсягів шляхом коефіцієнтного масштабування. Це дозволить диспетчерським службам оперативно розраховувати добову потребу в рухомому складі, зберігаючи виявлену структуру сезонного попиту.

### Список використаних джерел

1. World Steel in Figures 2021. URL : <https://worldsteel.org/data/world-steel-in-figures/world-steel-in-figures-2021/>
2. Підсумки-2019 : спад на зовнішніх ринках і ревальвація дали металургам мінус. URL : <https://gmk.center/ua/posts/pidsumki-2019-spad-na-zovnishnih-rinkah-i-revalvaciya-dali-metalurgam-minus/>
3. Про затвердження Методики коригування даних щодо обороту роздрібної торгівлі з урахуванням сезонності та робочих днів. URL : <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0042832-13#Text>
4. Findley D. F. Calendar Effects in Economic Time Series. *Handbook of Statistics*. 2005. Vol. 24. P. 205-221.
5. Eurostat. *Methodological Guide on Seasonal Adjustment with JDemetra+*. 2024. URL: <https://ec.europa.eu/eurostat/web/products-manuals-and-guidelines> (дата звернення: 27.03.2026).
6. Hyndman R. J., Athanasopoulos G. *Forecasting: Principles and Practice*. 3rd ed. 2024 update. URL : <https://otexts.com/fpp3/>
7. Григорак М. Ю. Интеллектуализация логистического управления : монографія. Київ : Сік Груп Україна, 2021. 504 с. ISBN 978-617-7457-96-0.
8. Жовнич П. І., Русин-Гриник Р. Р. Прогнозування транспортно-логістичних потоків: адаптація моделей до змінних контекстів для стійкого розвитку. *Економіка та суспільство*. 2025. № 2(12). С. 569–582. DOI: [https://doi.org/10.52058/3041-1254-2025-2\(12\)-569-582](https://doi.org/10.52058/3041-1254-2025-2(12)-569-582)
9. Gomon M., Naumov V. Optimization of Rail Car Distribution Considering Seasonal Fluctuations in Demand. *Transport and Telecommunication Journal*. 2023. Vol. 24(1). P. 45–56. DOI: <https://doi.org/10.2478/ttj-2023-0004>
10. Prokhorchenko A. et al. Information Technology of Cargo Rail Transport Management under Conditions of Uncertain Demand. *Lecture Notes in Networks and Systems*. 2022. Vol. 456. P. 112–124. DOI: [https://doi.org/10.1007/978-3-031-04286-7\\_10](https://doi.org/10.1007/978-3-031-04286-7_10)
11. Наумов В. С., Ковальов В. В. Удосконалення методів планування роботи залізничних ділянок на основі предиктивної аналітики. 2023. DOI: <https://doi.org/10.15587/2706-5448.2023.273451>

**Turpak S.M., Liamziin A.O., Ostrohliad O.O., Vasylieva L.O., Olenytsia O.O.**

## IMPROVING THE SCIENTIFIC APPROACH TO FORECASTING AND MODELING TRAFFIC FLOWS

*Research on traffic flows reveals fluctuations in freight volumes, which are most frequently driven by the seasonality of transportation. To visualize these fluctuations, graphs and charts characterizing changes in transport volumes over a specific period are employed. Such variations are inherently characterized by calendar cyclicity.*

*Seasonal variations in transport volumes exhibit a relatively stable pattern with an annual*

cycle. These changes may result from environmental (natural) conditions or the recurrence of calendar-dependent events across different countries. However, freight flow intensity is influenced not only by seasonality but also by various external factors, such as quotas, falling demand, trade disputes, and political conflicts.

*This paper examines methods for investigating seasonal fluctuations in freight flow intensity, using the shipment of exported rolled steel as a case study.*

*Government agencies that continuously monitor seasonal trends typically employ EU software solutions incorporating various correction factors. For more precise results, average daily indicators are analyzed; however, these do not always provide a comprehensive macro-level perspective of the research data.*

*To investigate the intensity of freight flow fluctuations, this study proposes a coefficient that accounts for actual transport data, as well as the number of calendar days per month and per year. Data processing is conducted using the calendar deflation method, which enables a clear visualization of fluctuations in average daily shipment volumes of export steel products throughout the year.*

*For transport flow research, a two-stage model of calendar deflation and polynomial approximation is proposed. This model can be utilized for operational planning, determining the required fleet size for transport organization, and adjusting schedules for rolling stock maintenance.*

*Through the mathematical deflation of time series, it is possible to transform analytical data into a predictive logistics model, capable of increasing planning accuracy by 9% and preventing capacity shortages during peak periods.*

*The proposed model, based on a 5th-degree polynomial, is not static; rather, it serves as a baseline profile that is easily adaptable to projected annual volumes via scaling factors. In industrial operations, this allows dispatch services to rapidly calculate daily rolling stock requirements while maintaining the identified structure of seasonal demand.*

**Keywords:** *transport flows, research, seasonal fluctuations, freight flow, intensity, methods, coefficients, deflation, approximation, model.*

*Стаття надійшла 01.04.2026*

*Стаття прийнята 05.04.2026р.*

*Стаття опублікована 30.04.2026р.*