

**Віктор Мироненко**  
**Галина Висоцька**  
**Оксана Родкевич**  
**Розалія Щербина**

## **БАЗОВА МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ТРАНЗИТНИХ ВАНТАЖОПОТОКІВ**

*Проаналізовано динаміку та структуру транзитних перевезень залізницями України. На основі проведеного аналізу факторів, що впливають на обсяг транзитних перевезень, запропоновано базову математичну модель транзитного вантажопотоку.*

*Проанализирована динамика и структура транзитных перевозок железными дорогами Украины. На основе проведенного анализа факторов, влияющих на объем транзитных перевозок, предложено базовую математическую модель транзитного грузопотока.*

*The dynamics and structure of transit transportation by railways of Ukraine have been analyzed in the article. The basic mathematical model for transit freight flows has been proposed by authors having been grounded on the analysis of the factors influencing the transit traffic amount.*

**Ключові слова.** Транзит вантажів, залізничний транспорт, пропускна спроможність, математична модель, транспортний тариф, швидкість транзиту.

Останні п'ять років відзначилися драматичними змінами на ринку транзитних вантажних перевезень залізничного транспорту та інших складових транспортно-логістичного комплексу України. Ці зміни не дають підстави і надалі оптимістично стверджувати: «Україна – транзитна держава». Адже транзитні потоки вантажів усе частіше їй обминають, про що свідчать дані, наведені в табл. 1 та на рис. 1.

Дані, наведені в табл. 1, вражають. Так, у першому півріччі 2012 року транзит вантажів морським транспортом скоротився порівняно з першим півріччям 2011 року більш як у 3 рази! Такого не було навіть у розпал світової економічної кризи, адже у 2009 році транзит вантажів морським транспортом скоротився порівняно з 2008-м менш як у 2 рази (54,5 % від 2008 року) [1].

Залізничний транспорт – основний перевізник міжнародних транзитних вантажів – так і не досяг докризових обсягів перевезень, при цьому поточний 2012 рік не дає підстав для оптимізму.

Структура перевезень транзитних вантажів за їх номенклатурою істотних змін не знає, як і раніше переважають масові вантажі (рис. 2), а от коливання обсягів їх перевезень носить «різноспрямований» характер (рис. 3).

Таблиця 1. Транзит вантажів транспортною системою України [1]

Перевезення транзитних вантажів	Перевезено транзитних вантажів за січень-червень 2012 р., тис. т	У % до січня-червня 2011р.
Всіма видами транспорту	68618,09	83,0
у тому числі:		
залізничним <sup>2</sup>	22362,96	87,1
автомобільним <sup>3</sup>	2928,61	127,9
морським <sup>4</sup>	793,59	29,5
річковим	-	-
авіаційним	1,58	130,2
трубопровідним <sup>5</sup>	42286,48	81,4
інше <sup>6</sup>	244,87	457,2

<sup>1</sup> Дані наведено на основі інформації Державної митної служби України.

<sup>2</sup> З урахуванням контейнерів на залізничних вагонах.

<sup>3</sup> З урахуванням контейнерів на вантажних автомобілях.

<sup>4</sup> З урахуванням контейнерів на морських судах.

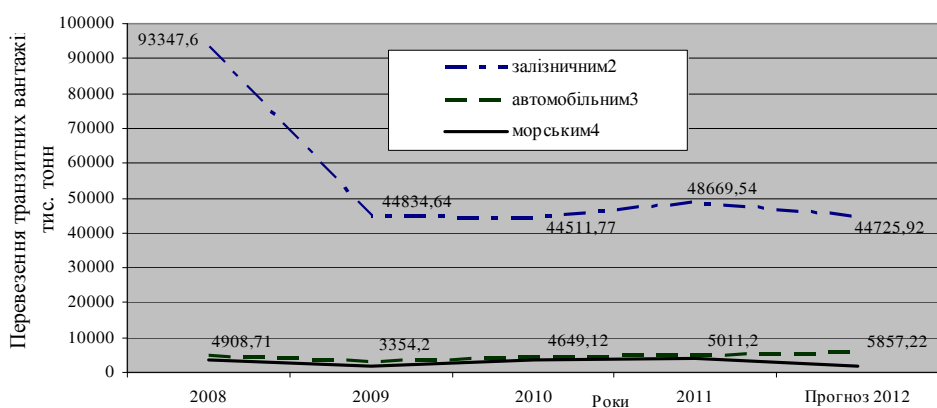
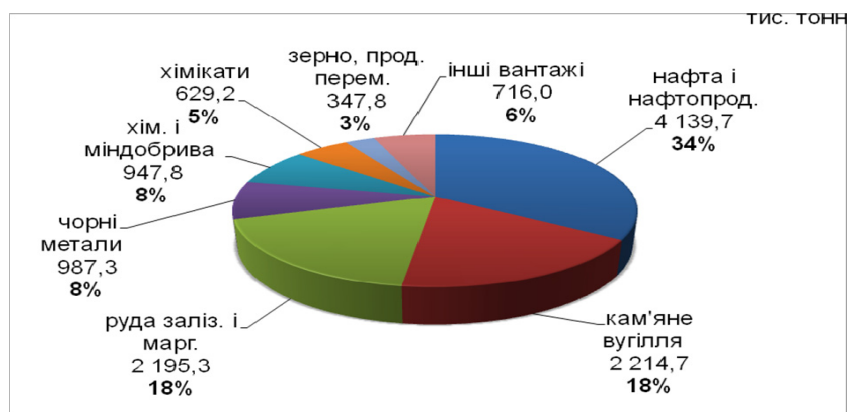


Рис. 1. Динаміка транзитних перевезень вантажів основними видами транспорту України



Всього: 12,2 млн. тонн

Рис. 2. Структура вантажних транзитних перевезень територією України залізничним транспортом у I кварталі 2012 року

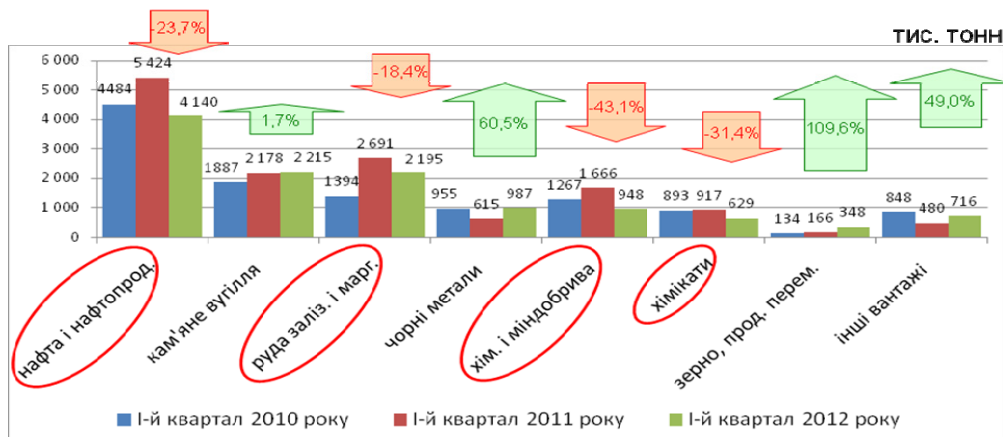


Рис. 3. Динаміка обсягів вантажних транзитних перевезень територією України залізничним транспортом за номенклатурою вантажів

Що відбувається з транзитом? Що впливає на транзит? Деякі причини нібито лежать на поверхні, про них можна дізнатися з різних аналітичних джерел, зокрема з інтернету ([http://www.tracesca-org.org/fileadmin/fm-dam/TAREP/52jh/52jh6\\_ru.pdf](http://www.tracesca-org.org/fileadmin/fm-dam/TAREP/52jh/52jh6_ru.pdf) та ін.).

Зокрема, у 2008-2010 роках відбулось драматичне скорочення обсягів транзитних вантажопотоків, які пройшли через українські порти – з 69 млн т у 2007 р. до 44,2 млн т у 2010 р. Однією з причин втрати 25 млн т транзиту стала відміна в 2008 р. знижок на перевалку транзитних вантажів. У 2011 р. транзит через українські порти і термінали збільшився після трьох років скорочення. Зростання склало 7,5% (3,34 млн т) – до 47,6 млн т, при цьому у державних морських торговельних портах обсяги транзиту зросли на 20,4% (до 39,8 млн т). Однак обсяги вантажопотоків з основної для України країни походження транзиту – Російської Федерації – не повернулись. Вони зросли лише на 0,3 млн т за рахунок зростання обсягів деяких сухих вантажів (зерна, хімічних, контейнерних). Якщо врахувати інтенсивне будівництво в південних російських портах нових перевалочних потужностей, то перспективи російського транзиту через українські порти не виглядають обнадійливими.

Разом з тим, перевалка російських зовнішньоторговельних вантажів як у російських, так і в іноземних портах за останнє десятиріччя більше ніж подвоїлась – з 270,5 млн т у 2001 р. до 639,4 млн т у 2011 р. (у т.ч. в Прибалтиці – 69,7 млн т і в Україні – 34,2 млн т). У чорноморсько-азовських портах Росії у 2011 р. перероблено 172,8 млн т. Однак відповідно до федеральної цільової програми «Розвиток транспортної системи Росії (2010–2015 рр.)» ([http://rosavtodor.ru/information/Osnovnye\\_programmy/ftsp\\_razvitie\\_transportnoy\\_sistemy\\_rossii\\_2010\\_2015\\_godyi.html](http://rosavtodor.ru/information/Osnovnye_programmy/ftsp_razvitie_transportnoy_sistemy_rossii_2010_2015_godyi.html)) пропускна спроможність портів Півдня Росії повинна перевищити 250 млн т вантажів. За оцінками керівника Федерального агентства морського і річкового транспорту Росії, це дозволить повністю задовольнити перспективні потреби російської економіки в перевалці зовнішньоторговельних вантажів на півдні країни, при цьому буде створено 15% резервних потужностей.

Додамо до цього активну конкурентну боротьбу за вантажі між портами України і Росії на Чорному морі.

Якщо на ці та інші зовнішні фактори, що суттєво впливають на транзитні вантажопотоки України, неможливо вплинути, то їх необхідно принаймні врахувати, щоб відповісти на запитання – від чого залежить величина і напрямок транзитного потоку. Спробуємо у цьому розібратися за допомогою схеми, наведеної на рис. 4.

Можна сказати, що суттєвих, основоположних факторів впливу на транзит не так і багато. Усі вони показані у верхній частині рис. 4 (від них виходять стрілки, безпосередньо спрямовані на блок, позначений як «ТРАНЗИТ, Q»). Назви цих факторів скорочені, при цьому вони відображають саму суть впливу фактора.

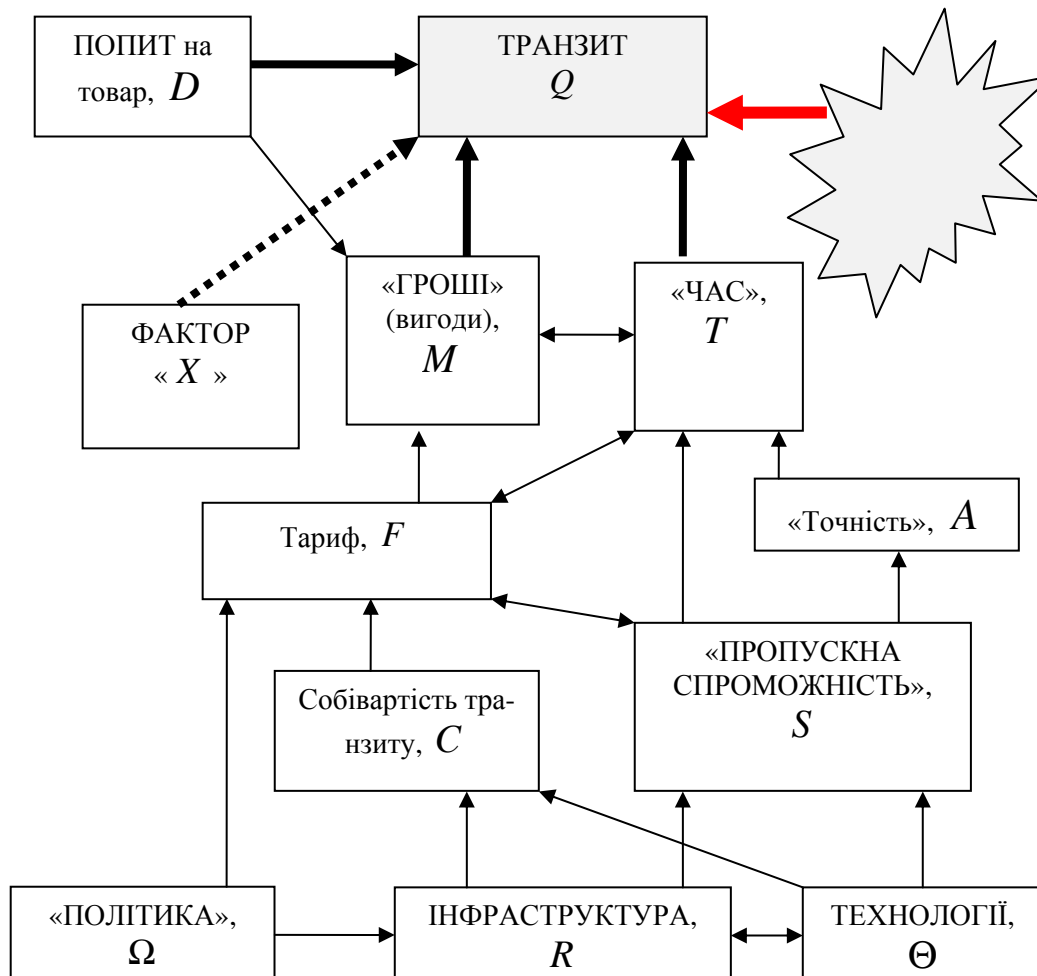


Рис. 4. Модель системи факторів впливу на транзит вантажу

Дійсно, аксіомою є те, що транзитні вантажопотоки і перевезення відбуваються не самі по собі, а виникають лише тоді, коли за їх допомогою переміщуються певні товари (для транспорту – вантажі) з товарного ринку, де вони продаються за однією ціною, на інший товарний ринок, де їх купують за ціною, вищою на величину  $\Delta P$  (це питання розглянуто раніше [2]). Якщо такої ринкової різниці цін не існує, то не буде й перевезення, тому що відсутній «ПОПИТ на товар,  $D$ ».

Безпосередній (хоча не обов'язково лінійний, пропорційний) вплив на транзит мають фактори, які звичайно згадуються «в парі» – «ЧАС» і «ГРОШІ». Очевидно, чим більші вигоди в грошовому чи іншому вимірі отримує від транзитного перевезення вантажовласник, тим більшим (за інших рівних умов) буде транзитний потік. Чим менша тривалість транзиту, менші її відхилення від певної розрахункової чи договірної величини, тим більшим буде транзитний вантажопотік, знову ж таки за інших рівних умов. Очевидно, транзитні вантажопотоки зменшуються чи зникають при настанні форс-мажорних обставин, таких як військові дії, напади піратів на торговельні судна чи замерзання акваторії портів. Усі інші чинники, якими не можна пояснити зміну величини транзиту, належать до групи «ФАКТОР  $X$ ». Це можуть бути, наприклад, непередбачені або незадокументовані додаткові витрати, пов'язані з транзитом, у тому числі й витрати корупційного характеру.

Спробуємо пов'язати згадані фактори у математичну модель виду

$$Q = f(D, M, T, N, \dots),$$

де  $Q$  – транзитний вантажопотік, т/доба, а інші фактори впливу враховуються за допомогою таких параметрів:

---

$N$  – максимальна (за станом інфраструктури і технологій) пропускна спроможність маршруту транзиту, т/доба;

$D$  – попит на товар, що є вантажем на маршруті транзиту, який визначається ємністю ринку покупця (кінцевого імпортера);

$y$  – ставка банківського кредиту, % річних;

$T$  – розрахункова тривалість транзиту за маршрутом, доба;

$\Delta_T$  – «точність» виконання розрахункового терміну доставки, доба;

$\Delta P$  – різниця цін на товар на ринках покупця і продавця (ринковий потенціал товару, що перевозиться транзитом, \$/тонна або в інших грошових одиницях);

$F$  – транспортний тариф та інші витрати, безпосередньо пов'язані з транспортуванням товару, що перевозиться, по усьому маршруту транзиту (крім витрат, що відносяться на «фактор  $X$ »), у тих самих грошових одиницях;

$X$  – витрати, що відносяться на «фактор  $X$ » (корупція, злочинність, інші «тіньові» витрати), у тих самих грошових одиницях.

Економіко-математична модель транзиту базується на таких припущеннях.

1. Максимальний потік транзиту обмежується пропускною спроможністю маршруту транзиту.

2. Використання (заповнення) пропускної спроможності маршруту на всі 100 % неможливе (необхідні резерви пропускної спроможності), але воно буде тим більшим, чим більший попит на товар (вантаж), що перевозиться транзитом і менші відхилення від розрахункової тривалості транзиту.

3. Попит на товар (вантаж), що перевозиться транзитом, залежить прямо – від максимально можливої різниці цін на цей товар, що існує між товарними ринками, які поєднує маршрут транзиту і обернено – від величини транспортного тарифу та інших витрат, безпосередньо пов'язаних з транспортуванням товару, а також тривалості транспортування.

Такі логічні припущення відображаються базовою математичною моделлю, записаною за допомогою системи рівнянь (1) – (5).

$$Q = N(1 - e^{-Z}); \quad (1)$$

$$Z = \frac{D}{N} \left( \frac{w - X}{F} - 1 \right) \left( \frac{T - \Delta_T}{T + \Delta_T} \right); \quad (2)$$

$$w = \Delta P \cdot Y^{-Y}; \quad (4)$$

$$Y = 1 + \frac{y \cdot T}{365 \cdot 100}, \quad (5)$$

Модель буде надалі уточнюватися на основі цих вихідних співвідношень величин факторів, що до неї входять.

Проміжна величина  $w$ , що розраховується за формулою (4) – це «максимальна вигода», яку може отримати вантажовласник завдяки переміщенню товару з ринку продавця на ринок покупця при ринковій різниці цін  $\Delta P$ , з урахуванням плати за кредит  $y$  % річних і тривалості транзиту  $T$  діб.

З рівняння (2) витікає наведена нижче умова (6), без виконання якої ніякий транзитний потік взагалі неможливий, тому що перевезення буде економічно не доцільним:

$$w > F + X. \quad (6)$$

Маршрути, технології перевезень, ціни, тарифи, що не відповідають умові (6), не розглядаються.

Величина  $T$  (розрахункова тривалість транзиту за маршрутом) визначається за формулою (7) з урахуванням логістичної характеристики «точність» виконання розрахункового терміну доставки  $\Delta_T$  (виведення формули (7) не наводиться):

$$T = \frac{1}{2} \left[ \frac{L}{V} + \sqrt{\left( \frac{L}{V} \right)^2 + 4 \cdot \Delta_T \frac{L}{V}} \right], \quad (7)$$

---

---

де  $L$  – довжина маршруту транзиту вантажу, км;  
 $V$  – середня комерційна швидкість транзиту вантажу на маршруті, км/доба;  
 $\Delta_T$  – «точність» виконання розрахункового терміну доставки, доба.

Ці величини визначаються як:

$$L = \sum_{i=1}^m l_i, \quad (8) \quad \text{та} \quad V = \frac{\sum_{i=1}^m l_i}{\sum_{i=1}^m (t_i + \frac{l_i}{v_i})}, \quad (9)$$

де  $l_i$  – довжина  $i$ -го відрізка маршруту ( $i = 1, 2, \dots, m-1, m$ ), км;

$v_i$  – середня комерційна (дільнична) швидкість транзиту на  $i$ -му відрізку маршруту, км/добу;

$t_i$  – середня тривалість простою транспортного засобу з товаром (транзитним вантажем) на терміналі (в порту, на кордоні, на стику видів транспорту тощо), що є початком  $i$ -го відрізка маршруту, доба.

Після розрахунків за формулами (8) та (9) визначається проміжна величина  $L/V$ , потім відносно неї приймається така величина  $\Delta_T$ , яка є досяжною з певною надійністю (ймовірністю) при даному стані інфраструктури та технологій, а також інших факторів, що впливають на транзит на даному маршруті.

Величина  $F$  (транспортний тариф та інші витрати, безпосередньо пов'язані з транспортуванням товару) визначається як:

$$F = \sum_{i=1}^m E_i + \sum_{i=1}^m G_i l_i, \quad (10)$$

де  $E_i$  – величина «потонних» (незалежних від відстані  $l_i$ ) тарифів та інших витрат (крім «фактору  $X$ ») для  $i$ -го відрізка маршруту ( $i = 1, 2, \dots, m-1, m$ ), \$/тонна або в інших грошових одиницях;

$G_i$  – величина «тонно-кілометрових» (залежних від відстані  $l_i$ ) тарифів та інших витрат (крім «фактору  $X$ ») для  $i$ -го відрізка маршруту, \$/тонно-км або в інших грошових одиницях.

Тарифи та витрати, що враховуються згідно з формулою (10) – це офіційні (відкриті, публічні) витрати, на відміну від витрат «фактора  $X$ ».

При аналізі формули (1) слід розглядати два випадки:

1)  $N < D$ , тобто пропускна спроможність маршруту  $N$  не задовольняє попит на перевезення  $D$  за величиною (пропускної спроможності недостатньо);

2)  $N \geq D$ , тобто попит  $D$  за величиною не більший за пропускну спроможність  $N$  (пропускної спроможності достатньо), є резерви пропускної спроможності.

Слід зазначити, що сучасним українським реаліям (зменшення обсягів транзиту) більше відповідає другий випадок. Хоча і перший випадок – нестача пропускних спроможностей на окремих напрямках – також є досить типовим.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Офіційний сайт Державної служби статистики України <http://www.ukrstat.gov.ua/>.
2. Планування транзитних перевезень вантажів залізницями України з урахуванням конкуренції на транспортних і товарних ринках. – Мироненко В.К., Висоцька Г.С. // Вісник ЦНЦ ТАУ. Окремий випуск // № 13. – 2010. – С. 38 – 40.