

- України Збірник наукових праць УкрДУЗТ, 2015, вип. 156. — с.129–135.
5. Яновський П. О. Пасажирські перевезення: [навчальний посібник] / Яновський П. О. — К.: НАУ, 2008. — 469 с.
  6. Грушевська Т. М. Дослідження закономірностей пасажиропотоків у залізничному приміському сполученні [Текст] / Т. М. Грушевська // Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту «Наука та прогрес транспорту». — 2014. — №5 (53). — С. 39–47.
  7. Грушевська Т. М. Удосконалення технології приміських перевезень на основі статистичних досліджень транспортного ринку [Текст] / Т. М. Грушевська // Збірник наукових праць Української державної академії залізничного транспорту. Тези доповідей 76-ї Міжнародної науково-технічної конференції «Розвиток наукової та інноваційної діяльності на транспорті». — Вип. 143. — Х.: УкрДАЗТ, 2014. — С. 298–299.
  8. Боровикова М. С. Организация движения на железнодорожном транспорте. М.: Маршрут, 2003. — 368 с.
  9. Бутько Т. В., Константинов Д. В. Удосконалення технології організації приміських перевезень // Збірник наукових праць УкрДАЗТ. — Харків, 2009. — №102. — С. 15–23.

УДК 656.2/5+517.9

© Новікова А. М., докт. екон. наук, академік ТАУ (ДП «ДержавотрансНДПроект»);  
 © Юрченко О. Г., канд. техн. наук, доцент, чл.-кор. ТАУ;  
 © Рудюк М. В., канд. істор. наук (ДЕТУТ)

## ЕКОНОМІКО-МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ НОВОГО ШОВКОВОГО ШЛЯХУ ЗАЛІЗНИЧНО-ПОРОМНОГО СПОЛУЧЕННЯ ЧЕРЕЗ УКРАЇНУ

**Анотація.** Запропонована економіко-математична модель Нового Шовкового шляху в залізнично-поромному сполученні на Каспійсько-Чорноморському маршруті територією України. Наведена схема можливих варіантів залізничних маршрутів української ділянки і проведена їхня попередня оцінка. Наведені роботи з будівництва і модернізації залізничних ліній з попередньою оцінкою. Для оцінки вартості інфраструктури нової залізничної лінії запропонована модель, яка враховує лінійні параметри (довжину, взаємне розташування), структуру об'єктів і склад елементів інфраструктури. Виконано розрахунковий експеримент для варіантів вибору рухомого складу і проаналізовано його результати.

**Ключові слова:** Новий Шовковий шлях, залізнично-поромне сполучення, економіко-математична модель, система організації перевезень, інфраструктура, рухомий склад, провізна спроможність, порти Одеси — кордон з ЄС.

**Аннотация.** Предложена экономико-математическая модель Нового Шелкового пути в железнодорожно-паромном сообщении на Каспийско-Черноморском маршруте по территории Украины. Приведена схема возможных вариантов железнодорожных маршрутов украинского участка и осуществлена их предварительная оценка. Приведены работы по строительству и модернизации железнодорожных линий с предварительной их оценкой. Для оценки стоимости инфраструктуры новой железнодорожной линии предложена модель, которая учитывает линейные параметры (длину, взаимное расположение), структуру объектов и состав элементов инфраструктуры. Проведен вычислительный эксперимент для вариантов выбора подвижного состава и проанализированы его результаты.

**Ключевые слова:** Новый Шелковый путь, железнодорожно-паромное сообщение, экономико-математическая модель, система организации перевозок, инфраструктура, подвижной состав, провозная способность, порты Одессы — граница с ЕС.

**Abstract.** The economic-mathematical model of the New Silk Route in railway-ferry traffic on the Caspian-Black Sea route through the territory of Ukraine is proposed. The scheme of possible options of railway lines of the Ukrainian section is given and their preliminary estimation is designed. A list of works on the construction and modernization of railway lines with their preliminary assessment was made. To estimate the cost of the infrastructure of the new railway line, a model is proposed that takes into account the linear parameters (length, relative position), the structure of the objects and the composition of the infrastructure elements. A computational experiment was carried out to select the variants of the rolling stock and its results were analyzed.

**Keywords:** the New Silk Route, railway-ferry traffic, options of railway lines, the economic-mathematical model, traffic management system, infrastructure, rolling stock, capacity, the Ports of Odessa — border with the EU.

### Вступ

Проект Нового Шовкового шляху є глобальним та зачіпає економічні та політичні інтереси багатьох країн. Кожна країна-учасниця очікує отримання економічної, соціальної вигоди та політичних переваг.

Ділянка Нового Шовкового шляху територією України від портів Одеси до кордону з країнами ЄС може бути освоєна з використанням залізниці. Цей проект, особли-

во в частині проходження територією України, є надзвичайно важливим для економіки, соціального розвитку та зміцнення політичних зв'язків з країнами ЄС як на період проектування, будівництва, так і під час експлуатації.

Надзвичайна висока вартість всього проекту та його окремих частин, зокрема й ті, які пройдуть територіями країн-учасниць, передбачає найсерйознішу комплексну оцінку як проекту в цілому, так і його окремих частин.

Результати оцінки моделей ціни «нового» вагона  $P_N^W$  відносно до ціни наявного  $P_0^W=1$

$s_N/s_0$	$a_N/a_0$	$r_N/r_0$	$l_N/l_0$	$q_0/q_N$	Значення $P_N^W$ при значенні $P_0^W=1$
1,45	1,25	1,50	1,33	1,10	
$\gamma_s$	$\gamma_a$	$\gamma_r$	$\gamma_l$	$\gamma_q$	
0,33	0,25	0,12	0,1	0,2	
Адитивна модель $P_N^W \approx P_0^W \left( \gamma_s \frac{s_N}{s_0} + \gamma_a \frac{a_N}{a_0} + \gamma_r \frac{r_N}{r_0} + \gamma_l \frac{l_N}{l_0} + \gamma_q \frac{q_0}{q_N} \right)$					1,285
Мультиплікативна модель $P_N^W \approx P_0^W \left( \frac{s_N}{s_0} \right)^{\gamma_s} \left( \frac{a_N}{a_0} \right)^{\gamma_a} \left( \frac{r_N}{r_0} \right)^{\gamma_r} \left( \frac{l_N}{l_0} \right)^{\gamma_l} \left( \frac{q_0}{q_N} \right)^{\gamma_q}$					1,291
Мультиплікативна модель спрощена $P_N^W \approx P_0^W \left( \frac{s_N}{s_0} \right) \left( \frac{a_N}{a_0} \right) \left( \frac{r_N}{r_0} \right) \left( \frac{l_N}{l_0} \right) \left( \frac{q_0}{q_N} \right)$					3,703

Проведення проектного аналізу також є важливою та необхідною частиною, яка надається потенційним банкам інвесторам для прийняття ними рішення щодо участі у проекті. Прийняття обґрунтованих рішень передбачає розробку адекватних економіко-математичних моделей, які складаються з параметрів перспективного рухомого складу, інфраструктури, системи перевезень організації та економіки, що й є предметом даного дослідження.

#### Основна частина

Економіко-математична модель Нового Шовкового шляху. Побудова математичної моделі.

Вихідні дані. Прийmemo такі параметри моделі:

$s_0$  — конструкційна швидкість, на яку розраховані існуючий рухомий склад (вагони, локомотиви) та інфраструктура, км/год; нижній індекс "...<sub>0</sub>" тут і далі відноситься до існуючих елементів системи та їх параметрів, тоді як нижній індекс "...<sub>N</sub>" тут і далі буде відноситись до нових елементів системи (інфраструктура, вагони, локомотиви) та їх параметрів;

$a_0$  — допустиме навантаження на вісь для рухомого складу та колії, тон на вісь;

$g_0$  — допустимий пропущений тоннаж між ремонтами колії, тонно-км брутто на 1 км;

$r_0$  — допустимий пробіг вагона між ремонтами, км;

$l_{og}$  — гарантійний пробіг вагона між пунктами технічного обслуговування, км;

$q_0$  — маса тари вагона, тонн.

Вочевидь, у проекті повинні використовуватись нові конструкції та технічні рішення елементів рухомого складу та інфраструктури, параметри яких кращі, а самі вони, звичайно ж, дорожчі за ті, що існують на сьогодні. Наскільки дорожчі? Оцінити точно доволі складно, а приблизно — можна.

Рухомий склад. Сутність підходу пояснимо на прикладі умовного «нового вагона», який має параметри (з нижнім індексом "...<sub>N</sub>") кращі, ніж у наявного (нижній індекс "...<sub>0</sub>"), а тому дорожчий останнього. Тоді, якщо ціна наявного вагона  $P_0^W$ , то ціна «нового»  $P_N^W$  буде вища, а саме

$$P_N^W \approx P_0^W \left( \frac{s_N}{s_0} \right) \left( \frac{a_N}{a_0} \right) \left( \frac{r_N}{r_0} \right) \left( \frac{l_N}{l_0} \right) \left( \frac{q_0}{q_N} \right), \quad (1)$$

де інші значення параметрів визначені вище.

У формулі (1) ми обійшлися без  $\gamma_s, \gamma_a, \gamma_r, \gamma_l$  і  $\gamma_q$  — це вагові коефіцієнти реальних параметрів, як відображають ступінь їх впливу на ціну, визначені експертним шляхом таким чином, що  $\gamma_s + \gamma_a + \gamma_r + \gamma_l + \gamma_q = 1$ . Інакше кажучи, в моделі прийнято, що всі параметри, наведені в формулі (7), рівнозначні за ступенем впливу на величину  $P_N^W$ .

Чому запропонована така, по суті, спрощена мультиплікативна, а не суворо мультиплікативна (з урахуванням вагових коефіцієнтів) модель

$$P_N^W \approx P_0^W \left( \frac{s_N}{s_0} \right)^{\gamma_s} \left( \frac{a_N}{a_0} \right)^{\gamma_a} \left( \frac{r_N}{r_0} \right)^{\gamma_r} \left( \frac{l_N}{l_0} \right)^{\gamma_l} \left( \frac{q_0}{q_N} \right)^{\gamma_q}$$

або адитивна модель вигляду

$$P_N^W \approx P_0^W \left( \gamma_s \frac{s_N}{s_0} + \gamma_a \frac{a_N}{a_0} + \gamma_r \frac{r_N}{r_0} + \gamma_l \frac{l_N}{l_0} + \gamma_q \frac{q_0}{q_N} \right), \quad (2)$$

на кшталт тих, що використовуються в маркетингу для ціноутворення?

Щоб отримати відповідь на це запитання, проведемо обчислювальний експеримент (у випадку умовно прийнятих значеннях «нових» та реальних параметрів та їх вагових коефіцієнтів) та проаналізуємо його результати, представлені в **табл. 1**. Але спочатку поставимо запитання: «Якщо замість наявного вагона буде новий, у якого всі параметри набагато кращі, то наскільки він буде дорожчим? Наприклад, конструкційна швидкість на 35% вища, навантаження на вісь на 25% більше, міжремонтний пробіг більший на 50%, гарантійний пробіг без технічного обслуговування — на 33%, й до того ж маса тари нового вагона на 10% менша, ніж у наявного. Чи може бути, що цей новий вагон буде коштувати всього на 25–30% дорожче за наявний, або, швидше за все виробник анонсує ціну в 3–4 рази вищу?». До якого варіанту схилиєтесь Ви? А тепер — результати розрахунку.

Очевидно, що спрощена мультиплікативна модель дає більш реальні до ринкової ціни результати. Така модель відображає ціну продавця нового товару, з яким він виходить на ринок з невеликою партією. У подальшому зі збільшенням розміру партії (поставок вагонів) ціна буде зменшуватись, і модель дає можливість урахувати цей процес. Крім того, вона дає можливість оцінити, як вплине на ціну вагона покращення окремих його параметрів, тобто часткова модернізація, без зміни інших параметрів. Цю ж саму модель можна застосувати до інф-

Таблиця 2

Мінімальна довжина станційної площадки, для станції поперечного типу, м

Кількість колій, $n_{tr}$	Марка стрілочного переходу, $type_{sw}$	Корисна довжина колій, $l_{trn}^{min}$ , м	
		500	850
1	1/11	590,2	940,2
	1/22	680,4	1030,4
2	1/11	680,4	1030,4
	1/22	860,8	1210,8
3	1/11	770,6	1120,6
	1/22	1041,2	1391,2
4	1/11	860,8	1210,8
	1/22	1221,6	1571,6

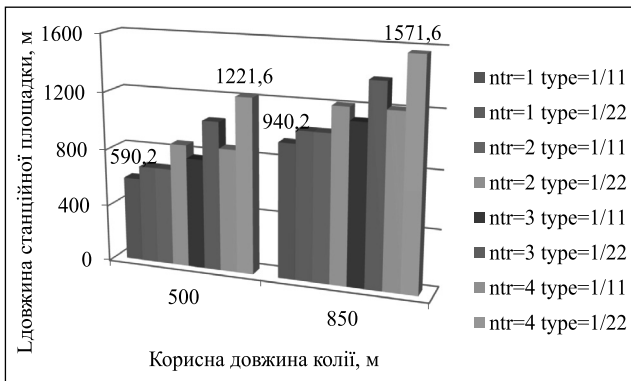


Рис. 1. Мінімальна довжина станційної площадки, для станції поперечного типу, м

раструктури, розбиваючи її на окремі ділянки, об'єкти. Цікаво, що окремі параметри моделі можуть бути загальними для інфраструктури та рухомого складу, наприклад, конструктивна швидкість та навантаження на вісь, хоча деякі параметри інфраструктури притаманні лише їй, наприклад, пропущений тоннаж бруто між ремонтами коліями. Вартість «нової» інфраструктури повинна враховувати її покращення в порівнянні з існуючими параметрами.

**Інфраструктура.** Для оцінки вартості інфраструктури нової залізничної лінії можна використовувати наступну математичну модель (необхідні для неї геометричні побудови через свою громіздкість опущені). Ця модель повинна враховувати лінійні параметри (довжину, взаємне розташування), структуру об'єктів, склад елементів інфраструктури.

По-перше, протяжність всієї лінії приймається рівною середній дальності перевезення вантажів  $L_w$ , км. По-друге, виконується її декомпозиція на елементи: на перегони загальною довжиною  $L_{op}$ ; на ділянки, які зайняті станціями та іншими роздільними пунктами, загальною довжиною (вимірюється по головній колії для кожної станції від вхідного до вихідного сигналу або стика)  $L_{st}$ ; на ділянках на мостах загальною довжиною  $L_{br}$ , та ділянки в тунелях, загальною довжиною  $L_{tn}$ .

Таким чином, загальна довжина лінії складається із сумарних довжин її елементів

Таблиця 3

Мінімальна довжина колій та інфраструктури контактної мережі, м

Число колій, $n_{tr}$	$\sum_{i=1}^{n_{tr}+1}$	Марка стрілочного переходу, $type_{sw}$	Корисна довжина колій, $l_{trn}^{min}$ , м	
			500	850
1	1	1/11	1106,7	1806,7
		1/22	1196,8	1896,8
2	3	1/11	1795,3	2845,3
		1/22	2065,8	3115,8
3	6	1/11	2574,1	3974,1
		1/22	3115,2	4515,2
4	10	1/11	3443,2	5193,2
		1/22	4345,0	6095,0

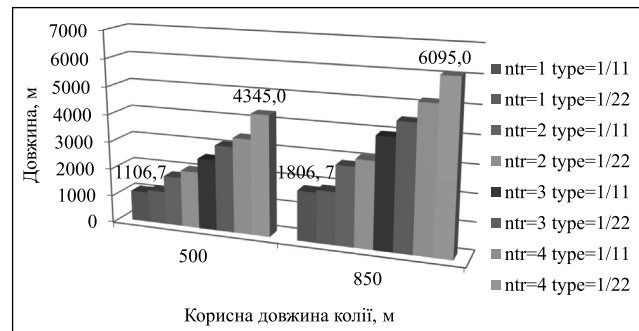


Рис. 2. Мінімальна довжина колій та інфраструктури контактної мережі для станції поперечного типу, м

$$L_w = L_{op} + L_{st} + L_{br} + L_{tn}. \quad (3)$$

Це дає можливість врахувати різну вартість одиниці довжини ( $c_{00}$ , на 1 км) елемента інфраструктури, прийнявши, наприклад, таке співвідношення, що склалося на практиці

$$c_{op} < c_{st} < c_{br} < c_{tn}.$$

Для станцій необхідно врахувати схему та інші параметри колійного розвитку, які впливають на вартість. Наприклад, типи стрілочних переходів на головних та інших коліях, які залежать від швидкості руху поїздів.

Довжина ділянки, зайнятої станцією (мінімальна довжина станційної площадки, для станції поперечного типу), визначається як

$$l_{ost} = l_{trn}^{min} + 2 \frac{b_{st} n_{tr}}{type_{sw}}, \quad (4)$$

де  $l_{trn}^{min}$  — стандартна мінімальна довжина поїзда на лінії, м;  $l_{trn}^{min} = l_{wg} m_{tr} + l_{loc} + l_{sf}$ , где  $l_{wg}$  — довжина вагона по осях автотягача;

$m_{tr}$  — кількість вагонів у стандартному поїзді;

$l_{loc}$  — довжина локомотива (локомотивів);

$l_{sf}$  — відстань безпеки, м;

$b_{st}$  — стандартна ширина міжколій на станції, м (можна прийняти 4,1 м);

$n_{tr}$  — кількість колій на станції (не рахуючи головної) з того боку від головної колії, де їх більше;

$type_{sw}$  — тангенс кута хрестовини (марка) стрілочного переходу відповідного типу (наприклад, 1/11, 1/18 або 1/22).

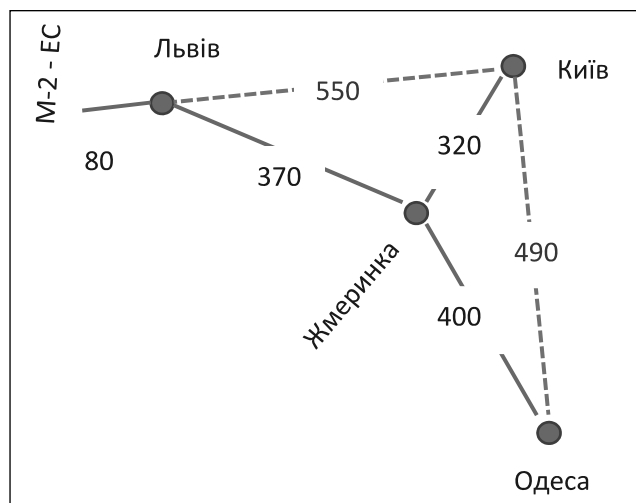


Рис. 3. Схема можливих варіантів маршрутів української ділянки Нового Шовкового шляху

Для станцій повздовжнього та комбінованого типу довжина станційної площадки відповідно збільшується.

Довжина колій (приблизно така сама довжина інфраструктури контактної мережі), які необхідно запроєктувати на станції, дорівнює

$$\sum l_{ost} = (n_{tr} + 1)l_{trn}^{min} + 2b_{st} \left[ \frac{\sum_{i=1}^{n_{tr}+1} (i-1)}{type_{sw}} + (n_{tr} + 1) \cdot \sqrt{1 + \frac{1}{(type_{sw})^2}} \right]. \quad (5)$$

Потрібно пам'ятати, що мінімальна довжина поїзда залежить від числа вагонів у ньому та дорівнює  $l_{trn}^{min} = l_{wg} m_{tr} + l_{loc} + l_{sf}$ , як це визначено у формулі (4). За формулою (5) розраховується довжина інфраструктури залежно від схеми колійного розвитку станції окремо в кожен бік від головних колій.

Вартість станційної інфраструктури можна оцінити як суму вартостей її складових: колія, стрілочні переводи,

Таблиця 4  
Попередня оцінка можливих варіантів маршрутів

Варіант	Маршрут	Довжина, км	Пробіг, км	Основні переваги та недоліки
1	Одеса – Київ – Львів (через Житомир)	1040	1040	Складна топографія та геологія на новій трасі, але зручно обслуговується Київ; менша вартість відведення землі.
2	Одеса – Жмеринка (заїзд до Києва) – Львів	1090	1410	Найбільша довжина та пробіг, але гірше обслуговується Київ.
3	Одеса – Жмеринка (оминаючи Київ) – Львів	770	770	Втрата вантажу з/для Києва, або потрібен новий термінал Жмеринка для його підвозу-вивозу.

контактна мережа та інші елементи. Орієнтовну вартість будівництва станції з електрифікацією та електричною централізацією всіх колій можна оцінити як

$$\sum K_{st} = 2n_{tr} k_{sw} + (k_{tr} + k_{ct} + k_{sg}) \sum l_{ost}, \quad (6)$$

де  $k_{sg}$  — вартість одного стрілочного перевodu;  
 $k_{tr}$  — вартість будівництва 1 км станційної колії;  
 $k_{ct}$  — вартість 1 км контактної мережі на станції;  
 $k_{sg}$  — вартість оснащення 1 км колії системами централізації;  
 $\sum l_{ost}$  — довжина станційної інфраструктури (формула 5).

#### Роботи з будівництва та модернізації залізничних ліній

Таблиця 5

Ділянка	Довжина*, км		Кількість річок	Довжина* (загальна), км, та вид переходів через річку	
	Будівництво 1435 мм	Модернізація під 1435 мм		Міст	
				Труба	
Одеса (вузол) – Раухівка-I		102			
Раухівка-I – Кам'яний міст	82		2		0,2
Кам'яний міст – Підгородня		36			
Підгородня – Мироновка	173		3	1,5	
Миронівка – Київ-Пас.	93		1	0,5	
Київ-Пас. – Київ-Волинський		12			
Київ-Волинський – Житомир	125		2	1,0	
Житомир – Шепетівка	115		1	0,5	
Шепетівка – Ожидів-Олеско	167		3	1,5	
Ожидів-Олеско – Львів		60			
Львів – Мостиська-II – кордон ЕС		80			
<b>Всього</b>	<b>755</b>	<b>290</b>	<b>12</b>	<b>5</b>	<b>0,2</b>
<b>Разом</b>	<b>1045</b>				

Таблиця 6

Маршрутні та зумовлені ними максимальні ходові (конструкційні) швидкості рух поїздів, виходячи з комфортно-го часу поїздки пасажирів

Маршрут	Відстань, км	Швидкість	Час поїздки пасажирів, год		
			2	2,5	3
Одеса — Київ	492	Середня маршрутна	246,0	196,8	164,0
		Максимальна ходова	300	250	200
Київ — Львів	553	Середня маршрутна	276,5	221,2	184,33
		Максимальна ходова	300	250	200

Вартість мостів та тунелів можна оцінити лише приблизно, враховуючи обрану трасу, можливі місця їхнього будівництва та вартість 1 км цих споруд. Розглянемо можливі варіанти нових маршрутів.

**Варіанти маршрутів.** Найкоротший маршрут нової залізничної лінії Одеса — Київ — Львів (через Житомир) матиме довжину мінімум 1040 км (рис. 3). Маршрут вздовж наявної найкоротшої лінії Одеса — Жмеринка — Львів, оминаючи Київ, буде довжиною 770 км. Такий же маршрут, але з «кутовим» заїздом до Києва потребує пробігу  $400 + 320 + 320 + 370 = 1410$  км.

Топографія та геологія на новій трасі в варіанті 1 характерна тим, що від Одеси до Києва майбутня траса перетинає заплави та русла шести малих та середніх річок, та стільки ж водних перешкод — на шляху від Києва до Львова через Житомир. Це означає — 12 нових залізничних мостів або інших переходів. Але нова траса пролягатиме по найменш заселеній території, що потребуватиме відносно менших витрат на відведення землі.

Попередня оцінка робіт з будівництва та модернізації залізничних ліній представлена в табл. 5.

Середня відстань по нових та модернізованих залізничних лініях, які визначають приблизний час поїздки пасажирів, становить: Одеса — Київ — 492 км; Київ — Львів — 553 км. Для забезпечення відповідних маршрутних та зумовлених ними максимальних ходових (конструкційних) швидкостей поїздів приведена табл. 6.

За умови збільшення розмірів пасажирського та вантажного руху виникає питання забезпечення потрібної пропускну та провізної спроможності лінії, на якій

можливий сумісний рух з різними швидкостями високошвидкісних пасажирських та прискорених вантажних поїздів-експресів. Природно, що швидкість пасажирських поїздів у такому випадку вища, ніж у прискорених вантажних експресів, й це призводить до так званого «зйому» вантажних поїздів пасажирськими. Питання необхідно поставити таким чином: «Якою повинна бути швидкість вантажних поїздів-експресів, щоб забезпечувались потрібні розміри руху і пасажирських, і вантажних поїздів?»

$$V_{fr}^{ex} \geq \frac{l_{max} N_{pas} \gamma_v}{24 - (N_{pas} + N_{fr}) \frac{\Delta t_{fr}^d}{60}}, \quad (7)$$

де  $l_{max}$  — довжина «обмежувального» (найдовшого, з найбільшим часом ходу поїзда) перегону на дільниці, км;

$N_{pas}$  — число високошвидкісних пасажирських поїздів на дільниці за добу;

$N_{fr}$  — число вантажних поїздів-експресів на дільниці за добу;

$0 < \gamma_v < 1$  — коефіцієнт, який враховує зменшення середньої маршрутної швидкості порівняно з максимальною ходовою (конструкційною), який можна прийняти рівним 0,9;

$\Delta t_{fr}^d$  — інтервал між послідовним відправленням вантажних поїздів, який повинен задовольняти умову

$$t_{min} \leq \Delta t_{fr}^d < \frac{24 \cdot 60}{N_{pas} + N_{fr}}; \quad (8)$$

$t_{min}$  — мінімально допустимий інтервал між послідовним відправленням вантажних поїздів-експресів, визначається, виходячи з умови безпеки руху (наприклад, 6 хв.).

Таблиця 7

Середня маршрутна швидкість вантажних поїздів при різних розмірах руху пасажирських та вантажних поїздів

$N_{pas}$ , пасажирських поїздів за добу	$N_{fr}$ , вантажних експрес-поїздів за добу								
	4	8	12	16	20	24	28	32	36
4	31,7	33,4	35,0	36,5	38,0	39,4	40,9	42,4	43,9
6	48,9	51,3	53,6	55,8	58,0	60,2	62,4	64,6	66,9
8	66,8	70,0	73,0	75,9	78,8	81,8	84,7	87,7	90,8
10	85,5	89,3	93,0	96,7	100,4	104,0	107,7	111,5	115,4
12	104,9	109,4	113,9	118,2	122,6	127,1	131,6	136,1	140,8
14	125,1	130,3	135,4	140,5	145,6	150,8	156,1	161,6	167,1
16	145,9	151,8	157,6	163,5	169,4	175,4	181,5	187,8	194,2
18	167,5	174,1	180,6	187,3	193,9	200,8	207,7	214,8	222,1
20	189,8	197,1	204,4	211,8	219,3	226,9	234,7	242,7	251,0
22	212,7	220,8	228,9	237,0	245,4	253,9	262,6	271,5	280,7

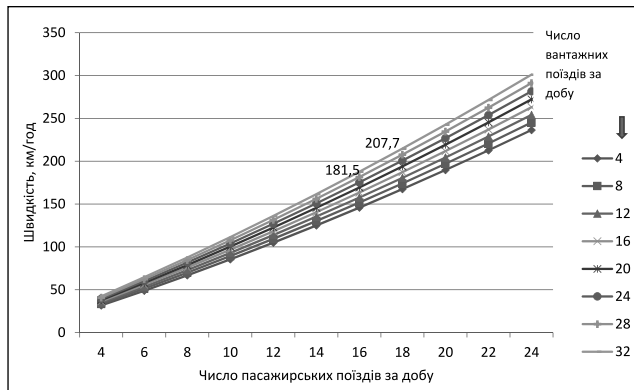


Рис. 4. Середня маршрутна швидкість вантажних поїздів за умови різних розмірів руху пасажирських та вантажних поїздів

Умові (8) не суперечить рівняння

$$\Delta t_{fr}^d = \frac{24 \cdot 60}{N_{pas} + N_{fr}} \cdot \frac{t_{min}}{\Delta t_{fr}^d}, \quad (9)$$

Звідки, після підстановки проміжних результатів

$$\Delta t_{fr}^d = \sqrt{\frac{24 \cdot 60}{N_{pas} + N_{fr}}} \quad \text{в (7), отримаємо}$$

$$V_{fr}^{ex} \geq \frac{l_{max} N_{pas} \gamma_v}{24 - \sqrt{24(N_{pas} + N_{fr})} \frac{t_{min}}{60}}. \quad (10)$$

З **табл. 6** видно, що «обмежувальним» перегonom є перегін Підгородня — Миронівка довжиною 173 км. Прийнявши  $\gamma_v = 0,9$  і  $t_{min} = 6$  хв., наведемо в **табл. 7** наступні результати розрахунків за формулою (10).

Результати розрахунків представлені на **рис. 4**. Як потрібно розуміти та використовувати ці результати? Наведемо декілька цифр. Перспективний обсяг перевезень приймемо 1 млн. 20-футових контейнерів на рік (1 млн. ДФЕ — двадцятифутовий еквівалент). Якщо перевозити в експрес-поїздах з 50 вагонів по 2 ДФЕ в кожному, це відповідає середньодобовим розмірам руху 27,4 поїздів у кожному напрямку (27 — 28 пар поїздів за добу). Пасажирські високошвидкісні поїзди в перспективі будуть відправлятися, наприклад, з 6:00 ранку до 22:00 вечора через кожну годину — більшу частоту в умовах України важко уявити. Тобто максимальні розміри пасажирського руху складуть 17 поїздів за добу. Їхня середня маршрутна швидкість становитиме 270 км/год, максимальна — 300 км/год. Забезпечити такі розміри руху зможе маршрутна швидкість вантажних поїздів-експресів порядку 195 км/год, а максимальна — 217 км/год. Але до цієї швидкості потрібно йти поступово (за етапами, які відповідають затемненим «діагональним» клітинкам **табл. 4**). Зрозуміло, в період доби з 6:00 ранку до 22:00 вечора пріоритет віддається пасажирським поїздам, і в проміжках між ними прослідують вантажні поїзди. Вночі переважно виконується вантажний рух.

Обіг вагона ( $\theta_w$ ) є ключовим показником якості організації логістичної схеми перевезення та експлуатаційної роботи залізниць. Він відіграє важливу роль ще й тому, що від нього залежить потреба в робочому парку вагонів ( $N_w$ )

$$N_w = U_{dw} \theta_w (1 + k_{rw}), \quad (11)$$

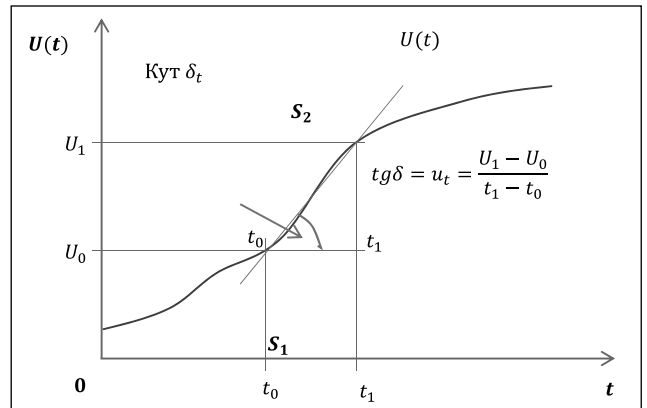


Рис. 5. Зміна інтенсивності середньодобового вагонопотоку (потреби в вагонах)  $U(t)$ , вагонів/добу

де  $U_{dw}$  — середньодобова потреба в вагонах для навантаження;

$k_{rw}$  — коефіцієнт, який враховує необхідний резерв вагонів, з урахуванням ремонтів та коливань попиту на перевезення.

Потреба в поїзних локомотивах визначається як

$$M_{loc} = \frac{U_{dw} L_w}{24 \beta_w s_N m_{tr}} (1 + \alpha_w) (1 + \beta_{loc}) (1 + k_{rloc}), \quad (12)$$

де  $m_{tr}$  — середня кількість вагонів у складі поїзда;

$\beta_{loc}$  — коефіцієнт допоміжного пробігу локомотива (не в голові поїзда);

$k_{rloc}$  — коефіцієнт, який враховує необхідний резерв локомотивів, з урахуванням ремонту та коливання попиту на перевезення.

Оскільки проект передбачає постійне збільшення обсягів перевезення, до 1 млн. контейнерів ДФЕ на рік (це 2740 контейнерів ДФЕ за добу), то значення середньодобової потреби в вагонах для навантаження буде змінною в часі,  $U_{dw} = f(t)$ .

Вигляд цієї функції невідомий (**рис. 3**), але на будь-якому достатньо малому інтервалі часу її можна апроксимувати лінійною функцією

$$U_{dw}(t) = U_0 + u_t t,$$

де  $U_0$  — інтенсивність середньодобового вагонопотоку (потреба в вагонах)  $U_{dw}$  на початку інтервалу часу від  $t_1$  до  $t_2$ , вагонів/добу;

$u_t$  — приріст інтенсивності середньодобового вагонопотоку (потреби в вагонах) (потребности в вагонах)  $U_{dw}$  протягом часу  $t = t_2 - t_1$ , вагонів/(добу)<sup>2</sup>.

Тоді виконаний за період часу від  $t_1$  до  $t_2$  обсяг перевезень  $\Sigma U_{dw}(t)$  можна визначити як

$$\Sigma U_{dw}(t) = \int_{t_1}^{t_2} (U_0 + u_t t) dt. \quad (13)$$

Після інтегрування отримаємо

$$\Sigma U_{dw}(t) = U_0(t_2 - t_1) + \frac{u_t}{2}(t_2^2 - t_1^2). \quad (14)$$

Для спрощення візьмемо  $t_1 = 0$ , тобто кожний новий відрізок часу починаємо з нуля, незалежно від попередніх; тоді  $t_2 = t$  і формула (14) буде мати вигляд

$$\Sigma U_{dw}(t) = U_0 t + \frac{u_t}{2} t^2. \quad (15)$$

До такого результату можна прийти шляхом геометричних побудов та перетворень, визначивши виконаний обсяг перевезень як площу фігури  $S = S_1 + S_2$  під кривою функції  $U(t)$ .

$$\begin{aligned}
 S &= S_1 + S_2 = \\
 &= (t_1 - t_0)U_0 + \frac{1}{2}(t_1 - t_0)(U_1 - U_0) = \\
 &= U_0 t + \frac{u_1}{2} t^2, \quad (16)
 \end{aligned}$$

де  $t = t_1 - t_0$ .

#### Висновки

Наявність різних технічних варіантів проекту, декількох джерел та схем фінансування передбачає проведення

сенситивного аналізу та ціни потенційних ризиків різного походження. Суттєву допомогу в цьому може надати запропонована економіко-математична модель Нового Шовкового шляху залізничного-поромного сполучення на Каспійсько-Чорноморському маршруті через Україну. Розробка та реалізація на практиці результатів математичної моделі дозволить отримати параметри технічного, технологічного та фінансового характеру для різних варіантів проектних рішень та виконати їхній аналіз з наступним прийняттям обґрунтованих управлінських рішень.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Бакаев Л. А. Математические методы и модели исследования экономических систем. К.: Логос, 2005. — 251 с.
2. Мироненко В. К., Мацюк В. І. Формалізація відносин учасників сучасного ринку залізничних вантажних перевезень // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. — №6 (177) — Ч. 1 — 2012. — С. 68–71.
3. Мироненко В. К., Алексійчук Н. М. Аналіз стану і проблем розвитку контейнерних перевезень залізницями України // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. — №6 (177) — Ч. 1 — 2012. — С. 108–113.
4. Мироненко В. К., Мацюк В. І., Висоцька Г. С., Алексійчук Н. М. Моделювання транзитних транспортних потоків // Автошляховик України // №6(230). — 2012. С. 17–22.
5. Мироненко В. К., Мацюк В. І., Родкевич О. Г., Висоцька Г. С. Умови ефективності функціонування технологічної транспортної лінії транзиту при зміні переробної спроможності пунктів входу і виходу транспортної мережі // Залізничний транспорт України // №5. — 2012. — С. 14–16.
6. Мироненко В. К., Висоцька Г. С., Родкевич О. Г. Фактори впливу на транзит вантажів залізницями України // Залізничний транспорт України // №6. — 2012. — С. 17 — 20.
7. Мироненко В. К., Висоцька Г. С., Родкевич О. Г., Щербина Р. С. Базова математична модель транзитних вантажопотоків // Збірник наукових праць Державного економіко-технологічного університету транспорту. Серія «Транспортні системи і технології». — Вип. 21. — 2012, С. 177–182.
8. Мироненко В. К., Алексійчук Н. М. Моделювання пропускної спроможності системи контейнерних терміналів // Збірник наукових праць Державного економіко-технологічного університету транспорту. Серія «Транспортні системи і технології». — Вип. 21. — 2012, С. 168–176.
9. Мироненко В. К., Горецький О. А., Якобчук О. А., Щербина Р. С. Системні чинники впливу на міжнародні транзитні перевезення вантажів залізницями України // Збірник наукових праць Державного економіко-технологічного університету транспорту. Серія «Транспортні системи і технології». — Вип. 21. — 2012, С. 183–191.
10. Мироненко В. К. Базовая экономико-математическая модель для предварительных оценок транспортного проекта нового шелкового пути / В. К. Мироненко, Р. Ю. Демин. // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. — 2017. — №7. — С. 304–306.

УДК 656.22.339.97

© Мироненко В. К., докт. техн. наук, професор, академік ТAU;

© Рудковський С. В., Радник Президента УСПП з питань залізничного та муніципального транспорту, офіційний представник в Україні корпорації CRRC ZELC (Китай)

## ЧОМУ УКРАЇНІ ПОТРІБНА ВИСОКОШВИДКІСНА ЗАЛІЗНИЧНА МАГІСТРАЛЬ КОЛІЇ 1435 ММ

**Анотація.** Розглянуті проблеми, можливості та обґрунтування впровадження високошвидкісного залізничного руху в Україні. Показано, що це можливо у рамках міжнародного проекту Транскаспійського Нового Шовкового шляху, залізнична частина якого повинна бути збудована в колії 1435 мм, оцінені майбутні логістичні та економічні показники цього проекту.

**Ключові слова:** високошвидкісні залізниці, Новий Шовковий шлях, контейнерні перевезення, прискорені вантажні поїзди, тарифи, окупність інвестицій.

**Аннотация.** Рассмотрены проблемы, возможности и обоснование внедрения высокоскоростного железнодорожного движения в Украине. Показано, что это возможно в рамках международного проекта Транскаспийского Нового Шелкового пути, же-