

## ВПЛИВ ПІДВИЩЕННЯ ШВИДКОСТІ РУХУ ПОЇЗДІВ НА ВИТРАТИ, ПОВ'ЯЗАНІ ІЗ ЗНОСОМ КОЛІЙНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ

Розглядається вплив підвищення швидкості руху поїздів на витрати, пов'язані із зносом колійної інфраструктури.

Рассматривается влияние повышения скорости движения поездов на расходы, связанные с износом путевой инфраструктуры.

An influence of the increase of speed of train movement on the expenditures related to wear of rail infrastructure is considered.

### 1. Загальні положення

Впровадженню реформи на залізничному транспорті передують розробка нових науково-обґрунтованих тарифів на перевезення вантажів і пасажирів. Однією з основних складових тарифів є витрати на утримання, ремонт, реконструкцію та будівництво інфраструктури залізниць. Для правильного визначення цих витрат по окремих видах поїздів потрібно провести низку досліджень, які дозволять встановити залежність цих витрат від експлуатації конкретного рухомого складу. Об'єктивна оцінка витрат, пов'язаних з підвищенням швидкості руху, може бути виконана за умови дослідження зміни енергоресурсів та витрат на знос інфраструктури. У даній роботі акцент зроблено на знос колійної інфраструктури і контактної мережі.

Проведений аналіз показав, що ділянки залізниць відрізняються не тільки технічним оснащенням, але й умовами роботи [1]. Для вирішення поставленого в роботі завдання був застосований диференційований підхід, який враховував як структуру поїздопотоків, так і технічне оснащення залізниці, параметри плану й поздовжнього профілю. Методика проведення такого дослідження викладена в статті авторів [2]. Нижче наведена послідовність виконання розрахунків і результати для наведеного прикладу.

### 2. Опис програми ZnosInfra

Для виконання розрахунків на ділянках з різною інтенсивністю вантажного й пасажирського руху була розроблена програма ZnosInfra. У вікні програми наведені пояснення до всіх параметрів, які треба задати (рис. 1). При виконанні розрахунків можуть бути задані загальні витрати на утримання колії та контактної ме-

режі для відповідної ділянки за розрахунковий період. У якості розрахункового періоду краще приймати рік, але розрахунки можуть виконуватись і для інших періодів. Для відповідного періоду в таблиці задається розрахункова кількість поїздів кожної категорії.

Натиснувши на відповідну стрілку, необхідно вказати стан колії з трьох можливих («добрий», «середній», «поганий»). Характеристика плану лінії задається через загальну довжину всіх кривих (км), середній радіус кривих (м) та загальну характеристику плану («легкий», «середній», «важкий»). Профіль також задається через його складність («легкий», «середній», «важкий»). Детально характеристики стану колії, плану і поздовжнього профілю розглянуто в роботі авторів [2].

Програма дозволяє виконувати розрахунки не тільки на основі апроксимуючих залежностей [2], але й за допомогою інформації про роботу сил, яка отримана за допомогою більш точних, наприклад, тягових розрахунків. В останньому випадку необхідно поставити відмітку у відповідній силі (див. рис. 1).

При заповненні таблиці задається вид тяги, для чого у відповідних клітинках необхідно ввести літери «е» (електротяга, постійний струм), «з» (змінний струм) або «т» (тепловозна тяга). Для вибору типу поїзду слід натиснути мишею на відповідну клітинку і у меню, яке з'явиться, обрати потрібний тип (вантажний, приміський, пасажирський, експрес). Для кожної категорії слід задати значення маси поїзда у тонах, середню довжину перегону або довжину ділянки, на якій поїзд рухається без зупинки, а також середню швидкість руху і кількість поїздів за розрахунковий період.

Якщо буде використовуватись більш точна інформація про дію якихось сил (поздовжніх,

вертикальних, горизонтальних, гальмівних), відповідні значення вводяться в таблицю. При зміні якихось параметрів таблиця оновлюється автоматично, але доцільно в кінці введення даних натиснути клавішу «Поновити», після чого

підраховуються дії всіх сил на колію і вплив поїздів на контактну мережу. Ці показники розраховуються для кожного поїзда, а також для всіх поїздів відповідних категорій.

**Розподілення витрат на утримання інфраструктури по категоріях поїздів**

Читати дані по ділянці Назва ділянки

Витрати на утримання за розрахунковий період (тис. грн): колії - 10000 контактної мережі - 2000

Стан колії добрий Довжина ділянки, км 100 Довжина кривих на ділянці, км 10 Середній радіус кривих, м 1000

Кількість категорій поїздів в розрахунку Складність профілю середній Складність плану середній

Роботи яких сил будуть не за апроксимацією, а за результатами точних розрахунків  поздовжніх  поперечних  вертикальних

Задайте кількість категорій поїздів та іншу інформацію по ділянці. В таблиці заповніть відповідні поля: Тяга - задайте т для тепловозної тяги, е - для електричної постійного струму, з - для змінного; Тип - кнопкою миші оберіть тип поїзда для категорії; Прим. - наберіть при необхідності якусь примітку. Після вводу інформації натисніть "Поновити".  
 Q - маса поїзду, т; Lз - середня відстань між зупинками, км; V - середня швидкість, км/год; N - кількість поїздів за розрахунковий період.  
 Наступні три значення роботи вводяться для одного поїзда в ткм, якщо вони будуть задаватися за результатами точних розрахунків:  
 D1вт - поздовжніх сил; D1п - поперечних сил; D1в - вертикальних сил.  
 D1 - загальна дія на колію одного поїзда; D - всіх поїздів цієї категорії, млн.ткм. E1 - загальна дія на контактну мережу одного поїзду (у.о.);  
 E - всіх поїздів цієї категорії. Далі йде доля поїздів цієї категорії в загальних витратах. Для колії: а1, А1 - одного поїзда (1000%, тис.грн.); аз, Аз - всіх (%), млн. грн.). Для контактної мережі: к1,К1 - одного поїзда (1000%, тис.грн.); кз, Кз - всіх поїздів цієї категорії (%), млн.грн.)

**Загальний вплив всіх поїздів на колію: 51,852 та на контактну мережу: 31,16**

№	Тяга	Тип	Прим.	Q	Lз	V	N	D1вт	D1п	D1в	D1	D	E1	E	а1	А1	аз	Аз	к1	К1	кз	Кз	
1	е	вантаж		3000	50	55	5000	2010,64,6	201,2277	11,383	1,106	5,53	4,39	0,439	22	2,195	3,55	0,071	17,7	0,355			
2	з	вантаж		3500	50	52	4500	2153,88,6	215,2457	11,056	0,84	3,779	4,74	0,474	21,3	2,132	2,69	0,054	12,1	0,243			
3	т	експрес		600	50	125	1500	722,576	36,1835	1,252	0	0	1,61	0,161	2,4	0,241	0	0	0	0			
4	е	приміськ		400	7	75	4000	1099,3,5	55	1158	4,632	0,825	3,299	2,23	0,223	8,9	0,893	2,65	0,053	10,6	0,212		
5	е	пасажир		1100	40	85	20000	1091,30,6	54,6	1176	23,529	0,928	18,553	2,27	0,227	45,4	4,538	2,98	0,06	59,5	1,191		

RailBrain™ Корженевич І. П. kip@railbs.com Поновити  Показувати діаграми Зберегти дані Зберегти результати Закінчити роботу

Рис. 1. Вікно програми ZnosInfra

Кошти на утримання розподіляються поміж поїздами пропорційно їх впливу відповідно на колію і контактну мережу. В таблиці показуються кошти для кожного поїзда і всіх поїздів відповідних категорій. Над таблицею жирним шрифтом вказуються загальні значення впливу поїздів всіх категорій на колію та на контактну мережу.

Дія всіх сил на колію, які впливають на вартість утримання колії, підраховується за наведеною методикою [2].

Вплив поїздів на контактну мережу, який призводить до витрат на її утримання, прийнято пропорційним поздовжній дії поїзда на колію та середній швидкості руху. Поздовжня дія складається з механічної роботи, яка пропорційна витратам електроенергії, та гальмівних сил. Оскільки при гальмуванні може використовуватися рекуперація і змінюється взаємодія пантографу та контактної мережі, врахування цих сил можна вважати доцільним. Зменшення

впливу для змінного струму враховується за допомогою розрахункового коефіцієнту 0,75.

При стані колії, який відрізняється від «добраго», вводиться коригуючий коефіцієнт, який збільшує вплив поїздів на контактну мережу на 10 % для середнього стану і на 25 % – для поганого.

Результати розрахунку можна подивитись на діаграмах, включивши відповідний прапорець біля кнопки «Поновити». В цьому випадку з'являються вікна з діаграмами, на яких показане розподілення витрат у відсотках поміж категоріями поїздів (рис. 2-5). Інформація на діаграмах оновлюється разом з оновленням даних у таблиці.

Результати розрахунку можуть бути збережені в текстовому файлі, в якому записується вся інформація, що знаходиться на вікні програми. Інформація в таблиці записана через символ табуляції, що дозволяє легко перетворити її в таблицю Microsoft Word, а потім обробляти в Microsoft Excel.

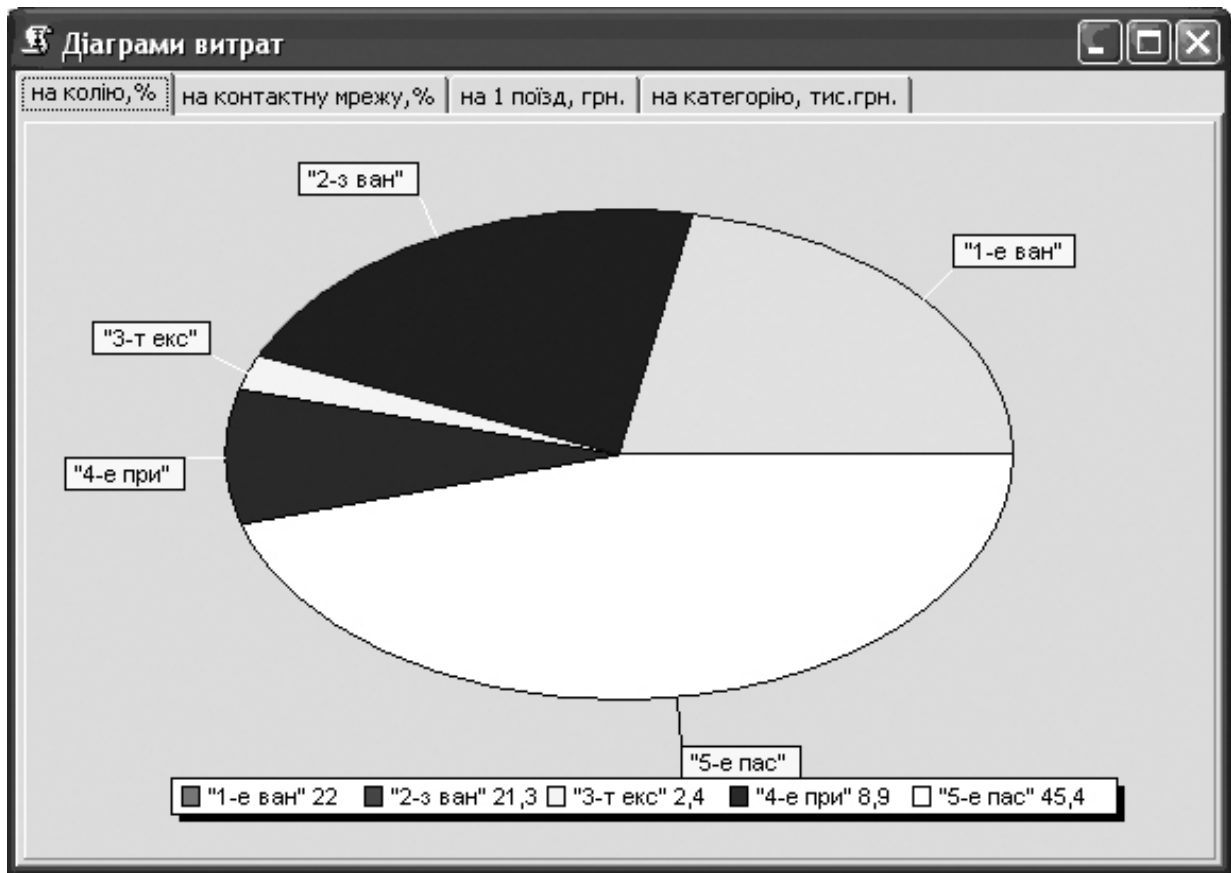


Рис. 2. Діаграма витрат на колійну інфраструктуру

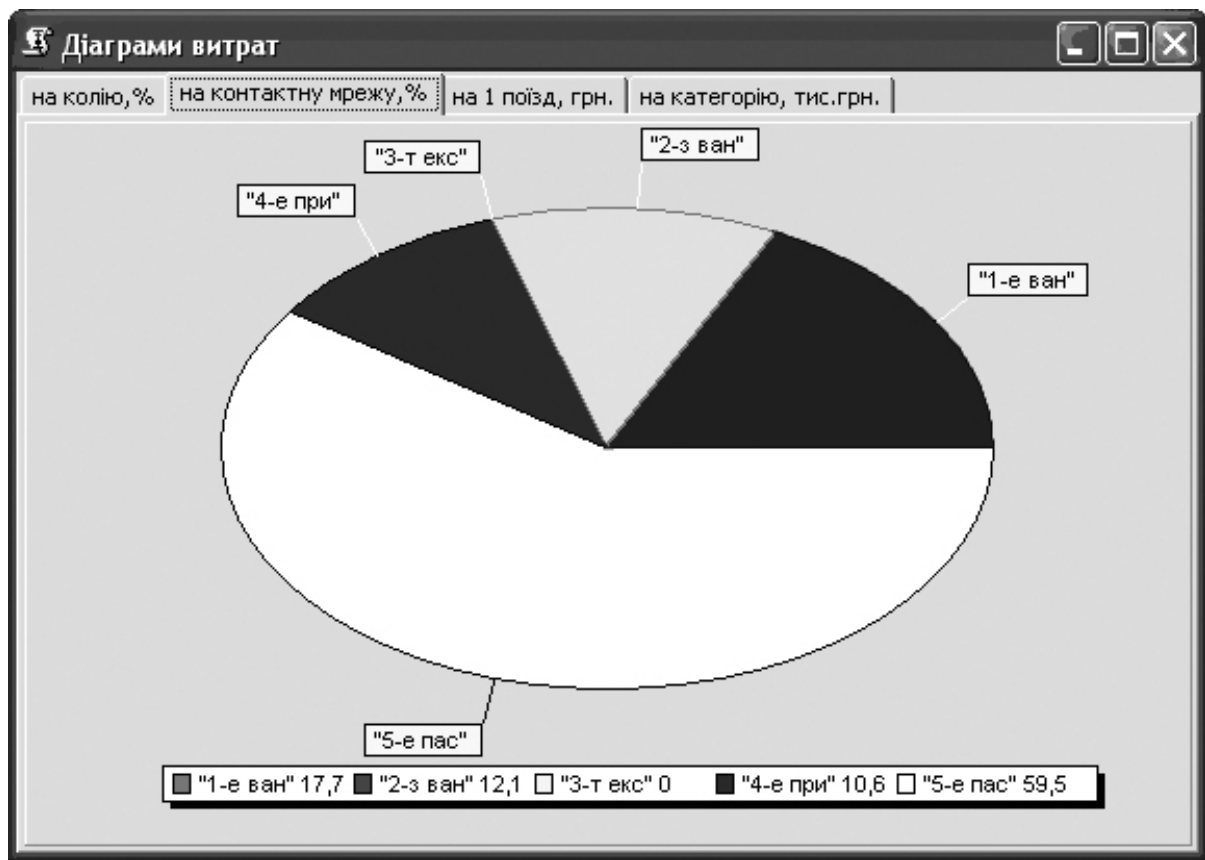


Рис. 3. Діаграма витрат на контактну мережу

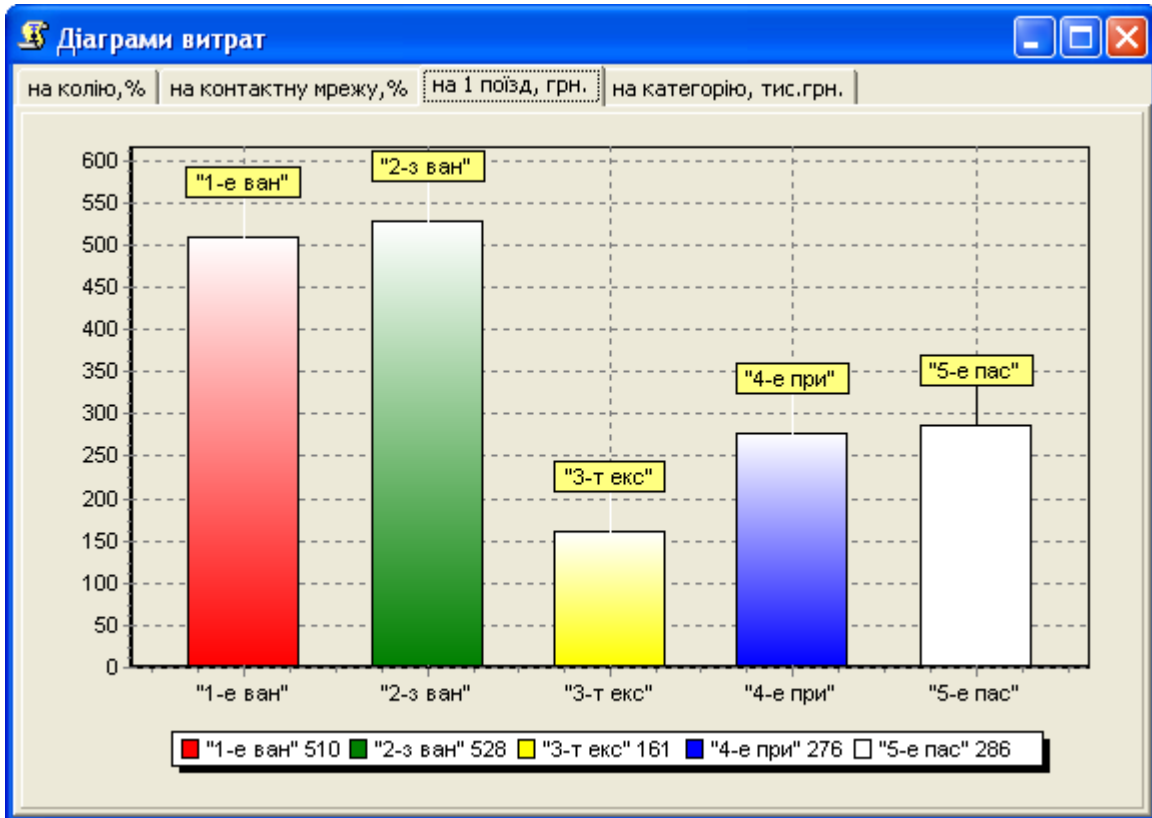


Рис. 4. Діаграма витрат на один поїзд

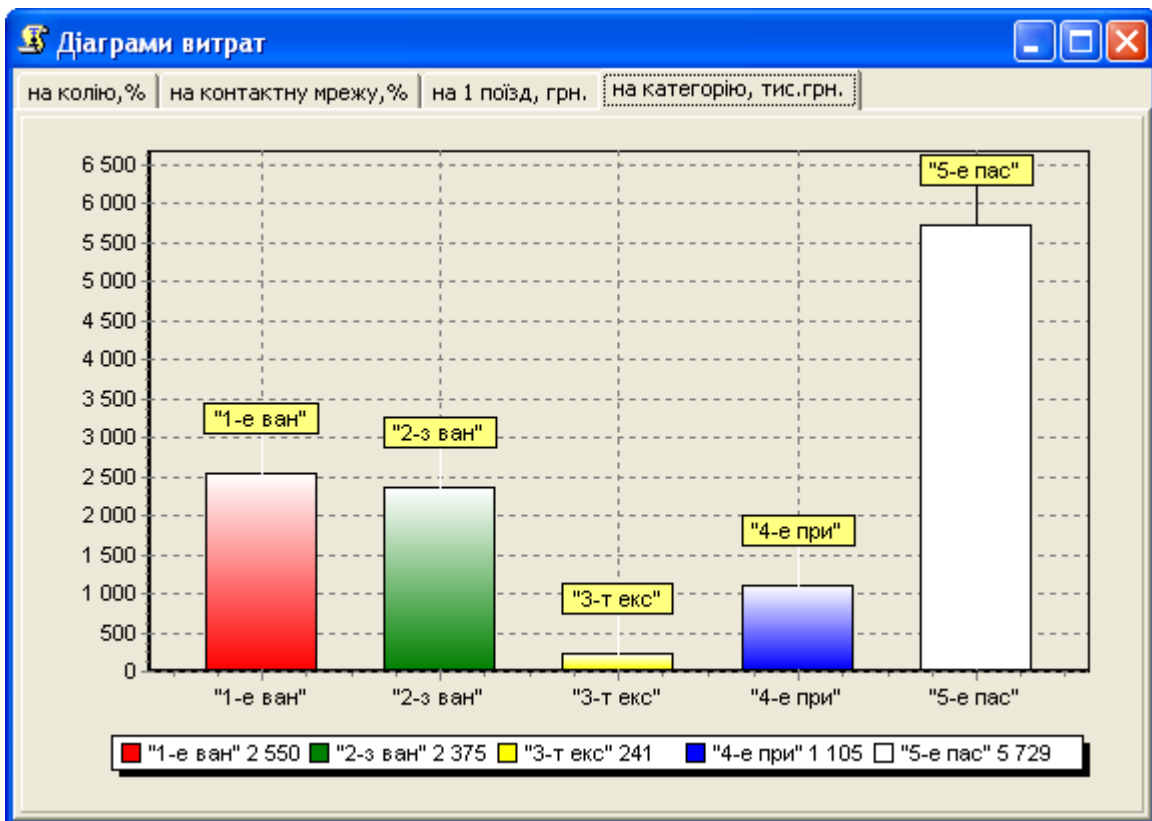


Рис. 5. Діаграма витрат на поїзди відповідних категорій

Інформація, що записана в файлах, поєднується потім за цілими напрямками або залізницями.

Такий підхід дозволяє на основі річних звітних даних зворотнім шляхом встановити

частку кожної ділянки в загальних витратах і визначити показники для всіх типів поїздів, що обертаються.

### 3. Виконання розрахунків з використанням програми ZnosInfra

В якості прикладу такого розрахунку розглянемо умовний напрямок залізниці, що скла-

дається з 4 ділянок, дві з яких електрифіковані на постійному струмі. Загальна характеристика цих ділянок наведена в табл. 1, а характеристика категорій поїздів – в табл. 2-5. Розмірності всіх величин відповідають розмірності їх у програмі. Значення витрат по всіх ділянках на першому етапі розрахунків приймаємо однако-вими.

Таблиця 1

#### Характеристика ділянок

Показник	Значення для ділянок			
	1	2	3	4
Стан колії	добрий	поганий	середній	добрий
Довжина	253	148	194	230
Довжина кривих	120	32	74	97
Середній радіус кривих	753	1020	970	910
Складність профілю	середній	легкий	важкий	легкий
Складність плану	важкий	легкий	середній	середній
Кількість категорій поїздів	6	5	4	5

Таблиця 2

#### Характеристика поїздів 1-ї ділянки

Показник	Значення для категорій					
	1	2	3	4	5	6
Тип тяги	е	е	е	е	е	е
Тип поїздів	вантаж.	вантаж.	вантаж.	пасаж.	приміськ.	експрес
Маса	3800	3400	1200	1150	400	600
Відстань між зупинками	43	43	50	38	6	50
Середня швидкість	54	57	62	87	76	115
Кількість поїздів	4500	5200	1500	10000	2600	730

Таблиця 3

#### Характеристика поїздів 2-ї ділянки

Показник	Значення для категорій				
	1	2	3	4	5
Тип тяги	т	т	т	т	т
Тип поїздів	вантаж.	вантаж.	вантаж.	пасаж.	приміськ.
Маса	3000	2800	1100	1000	400
Відстань між зупинками	16	16	24	34	7
Середня швидкість	43	45	53	85	65
Кількість поїздів	5000	6000	2000	9500	1500

Характеристика поїздів 3-ї ділянки

Показник	Значення для категорій			
	1	2	3	4
Тип тяги	т	т	т	т
Тип поїздів	вантаж.	вантаж.	вантаж.	вантаж.
Маса	4500	4300	3200	2600
Відстань між зупинками	14	16	14	16
Середня швидкість	33	33	44	51
Кількість поїздів	2000	1800	3500	2300

Таблиця 5

Характеристика поїздів 4-ї ділянки

Показник	Значення для категорій				
	1	2	3	4	5
Тип тяги	е	е	е	е	е
Тип поїздів	вантаж.	вантаж.	вантаж.	пасаж.	приміськ.
Маса	4000	3800	1000	1200	400
Відстань між зупинками	50	50	50	50	7
Середня швидкість	57	59	65	85	80
Кількість поїздів	5000	6000	4000	9500	3200

Для прикладу, отримані результати наведені тільки для першої ділянки, рис. 6. Узагальнені результати щодо впливу всіх поїздів на колію і контактну мережу представлені в табл. 6.

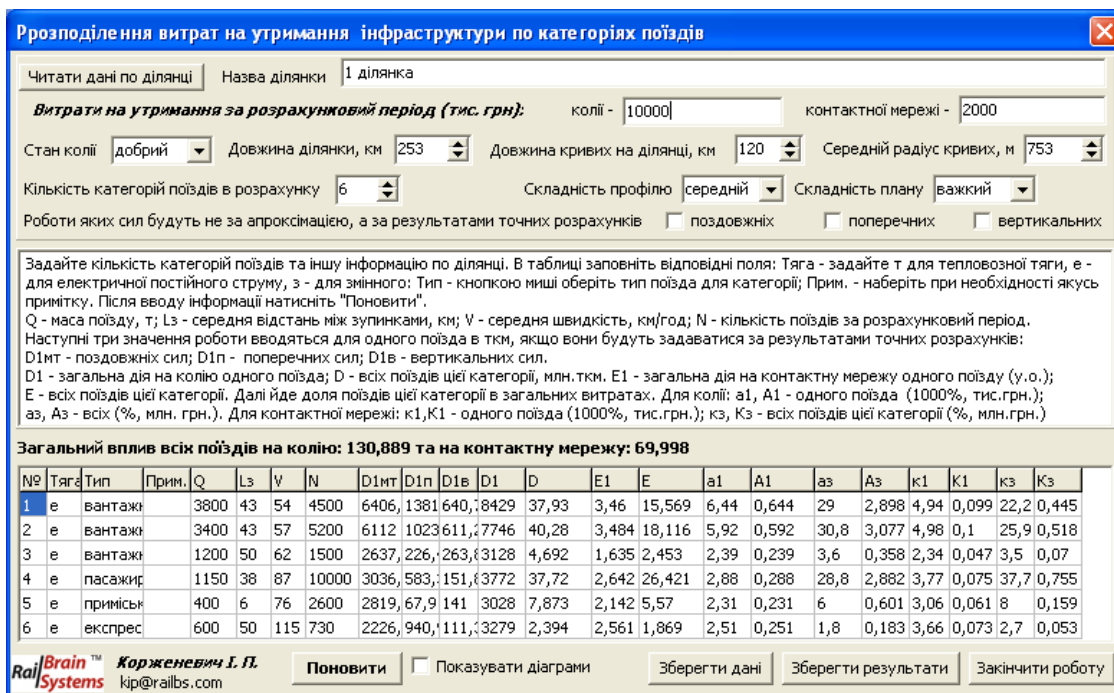


Рис. 6. Розподіл витрат на утримання інфраструктури по категоріях поїздів (ділянка 1)

## Загальний вплив всіх поїздів

Номера ділянок	На колію	На контактну мережу
1	130,889	69,998
2	74,282	0
3	69,542	0
4	100,217	52,692
Загалом	374,930	122,690

Подальший розподіл витрат виконується таким чином. Наприклад, загальні витрати на утримання колії за розрахунковий період по всіх ділянках за звітними даними становлять 25,6 млн грн, а на утримання контактної мережі – 1,7 млн грн. Тоді на першу ділянку на утримання колії припадає

$$\frac{25,6 \cdot 130,889}{374,930} = 8,937 \text{ млн грн,}$$

а на утримання контактної мережі

$$\frac{1,7 \cdot 69,998}{122,690} = 0,970 \text{ млн грн.}$$

Задамо ці значення для повторного розрахунку для кожної ділянки. Нижче, на рис. 7 наведені дані для першої ділянки.

**Розподілення витрат на утримання інфраструктури по категоріях поїздів**

Читати дані по ділянці Назва ділянки 1 ділянка

**Витрати на утримання за розрахунковий період (тис. грн):** колії - 8937 контактної мережі - 970

Стан колії добрий Довжина ділянки, км 253 Довжина кривих на ділянці, км 120 Середній радіус кривих, м 753

Кількість категорій поїздів в розрахунку 6 Складність профілю середній Складність плану важкий

Роботи яких сил будуть не за апроксимацією, а за результатами точних розрахунків  поздовжніх  поперечних  вертикальних

Задайте кількість категорій поїздів та іншу інформацію по ділянці. В таблиці заповніть відповідні поля: Тяга - задайте т для тепловозної тяги, е - для електричної постійного струму, з - для змінного; Тип - кнопкою миші оберіть тип поїзда для категорії; Прим. - наберіть при необхідності якусь примітку. Після вводу інформації натисніть "Поновити".

Q - маса поїзду, т; Lз - середня відстань між зупинками, км; V - середня швидкість, км/год; N - кількість поїздів за розрахунковий період. Наступні три значення роботи вводяться для одного поїзда в ткм, якщо вони будуть задаватися за результатами точних розрахунків: D1мт - поздовжніх сил; D1п - поперечних сил; D1в - вертикальних сил.

D - загальна дія на колію одного поїзда; D - всіх поїздів цієї категорії, млн.ткм. E1 - загальна дія на контактну мережу одного поїзду (у.о.); E - всіх поїздів цієї категорії. Далі йде доля поїздів цієї категорії в загальних витратах. Для колії: а1, А1 - одного поїзда (1000%, тис.грн.); аз, Аз - всіх (%), млн. грн.). Для контактної мережі: к1,К1 - одного поїзда (1000%, тис.грн.); кз, Кз - всіх поїздів цієї категорії (%), млн.грн.)

**Загальний вплив всіх поїздів на колію: 130,889 та на контактну мережу: 69,998**

№	Тяга	Тип	Прим.	Q	Lз	V	N	D1мт	D1п	D1в	D1	D	E1	E	а1	А1	аз	Аз	к1	К1	кз	Кз
1	е	вантаж		3800	43	54	4500	6406,1381	640,18429	37,93	3,46	15,569	6,44	0,576	29	2,59	4,94	0,048	22,2	0,216		
2	е	вантаж		3400	43	57	5200	6112	1023611,27746	40,28	3,484	18,116	5,92	0,529	30,8	2,75	4,98	0,048	25,9	0,251		
3	е	вантаж		1200	50	62	1500	2637,226,263,13128	4,692	1,635	2,453	2,39	0,214	3,6	0,32	2,34	0,023	3,5	0,034			
4	е	пасажир		1150	38	87	10000	3036,583,151,13772	37,72	2,642	26,421	2,88	0,258	28,8	2,576	3,77	0,037	37,7	0,366			
5	е	приміськ		400	6	76	2600	2819,67,9141	3028	7,873	2,142	5,57	2,31	0,207	6	0,538	3,06	0,03	8	0,077		
6	е	експрес		600	50	115	730	2226,940,111,13279	2,394	2,561	1,869	2,51	0,224	1,8	0,163	3,66	0,035	2,7	0,026			

RailBrain™ Корженевич І. П. kip@railbs.com   Показувати діаграми

Рис. 7. Розподіл витрат на утримання інфраструктури по категоріях поїздів (ділянка 1)

Розподілення витрат на утримання колії та контактної мережі має аналогічний вигляд (див. рис. 2, 3). Витрати за категоріями поїздів для

першої ділянки наведені в табл. 7. Аналогічно виконуються розрахунки для інших ділянок.

**Витрати на утримання інфраструктури першої ділянки, віднесені до відповідних категорій поїздів**

Категорія	Утримання колії		Утримання контактної мережі		Утримання інфраструктури	
	на 1, грн	на всі, тис. грн	на 1, грн	на всі, тис. грн	на 1, грн	на всі, тис. грн
1	576	2590	48	216	623	2806
2	529	2750	48	251	577	3001
3	214	320	23	34	236	354
4	258	2576	37	366	294	2942
5	207	538	30	77	235	615
6	251	163	35	26	259	189
Всі		8937		970		9907

**ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ**

1. Розрахунки показали, що врахування впливу поїздів на інфраструктуру через приведений вантажообіг є недостатньо точним, бо не враховує багатьох технічних і експлуатаційних факторів.

2. Отримані авторами аналітичні залежності достатньо точно характеризують вплив основних факторів (довжини ділянки, типу рухомого складу, швидкості руху, стану залізничної колії тощо) на знос залізничної колії та контактної мережі, визначають зв'язок між кількісними показниками впливу та якісним станом інфраструктури.

3. Запропонований новий методологічний підхід дає можливість давати попередню оцінку впливу різних факторів на знос інфраструктури, не виконуючи багатоваріантні тягові розрахунки та тривалі статистичні спостереження. Оскільки в розрахунках важливими є не абсолютні значення тих чи інших показників, а їх співвідношення, то апроксимуючі залежності можуть використовуватися при визначенні частки кожного поїзду та груп поїздів в загальних витратах на утримання інфраструктури.

4. Ураховуючи громіздкість розрахунків, методика економічної оцінки впливу інтенсивності вантажного й пасажирського руху на знос

колійної інфраструктури реалізована у вигляді програмного продукту ZnosInfra. Використання програми ZnosInfra для розрахунків по базі даних залізниць дозволить достатньо точно визначити розподілення витрат на утримання колії та контактної мережі поміж всіма поїздами та підрозділами, що, в свою чергу, дасть можливість більш обґрунтовано розподіляти кошти поміж підрозділами та визначати частку в тарифах, яка пов'язана з утриманням колії та контактної мережі.

**БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК**

1. Курган М. Б. Аналіз роботи залізниць України з позиції впливу інтенсивності перевезень на знос інфраструктури / М. Б. Курган, І. П. Корженевич, Ю. С. Бараш, Н. І. Верхоглядова // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Д.: Вид-во ДНУЗТ, 2007. – Вип. 19. – С. 265-270.
2. Корженевич І. П. Вплив підвищення швидкості руху поїздів на витрати енергоресурсів / І. П. Корженевич, М. Б. Курган, Ю. С. Бараш, Д. М. Курган // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Д.: Вид-во ДНУЗТ, 2008. – Вип. 20. – С. 233-239.

Надійшла до редколегії 26.02.2008.