

ВПРОВАДЖЕННЯ РЕСУРСОЗБЕРІГАЮЧИХ ТЕХНОЛОГІЙ ПРИ РОЗМЕЖУВАННІ ВАНТАЖНОГО Й ПАСАЖИРСЬКОГО РУХУ

Встановлено аналітичні залежності витрат електроенергії від середніх значень ухилів на ділянці, маси поїзда і вантажонапруженості.

Установлены аналитические зависимости затрат электроэнергии от средних значений уклонов на участке, массы поезда и грузонапряженности.

The analytical dependences of electric energy losses on average track section gradient values, train mass and freight traffic density are determined.

Загальні положення. Мета дослідження

Для прискорення процесу інтеграції залізничного транспорту України в міжнародну транспортну систему країн європейського економічного співтовариства, розроблені проект «Євро 2012», програма енергозбереження на залізничному транспорті, спеціалізація напрямків для розмежування вантажного й пасажирського руху тощо (рис. 1).

В Україні прийнято «Стратегію розвитку залізничного транспорту до 2020 року» [1], яка передбачає модернізацію залізничних ліній за напрямками міжнародних транспортних коридорів, подальшу електрифікацію залізничних ліній з інтенсивним рухом вантажних поїздів, підвищення швидкості руху вантажних поїздів до 100...120 і пасажирських – до 160...200 км/год, зниження питомих витрат енергоресурсів.

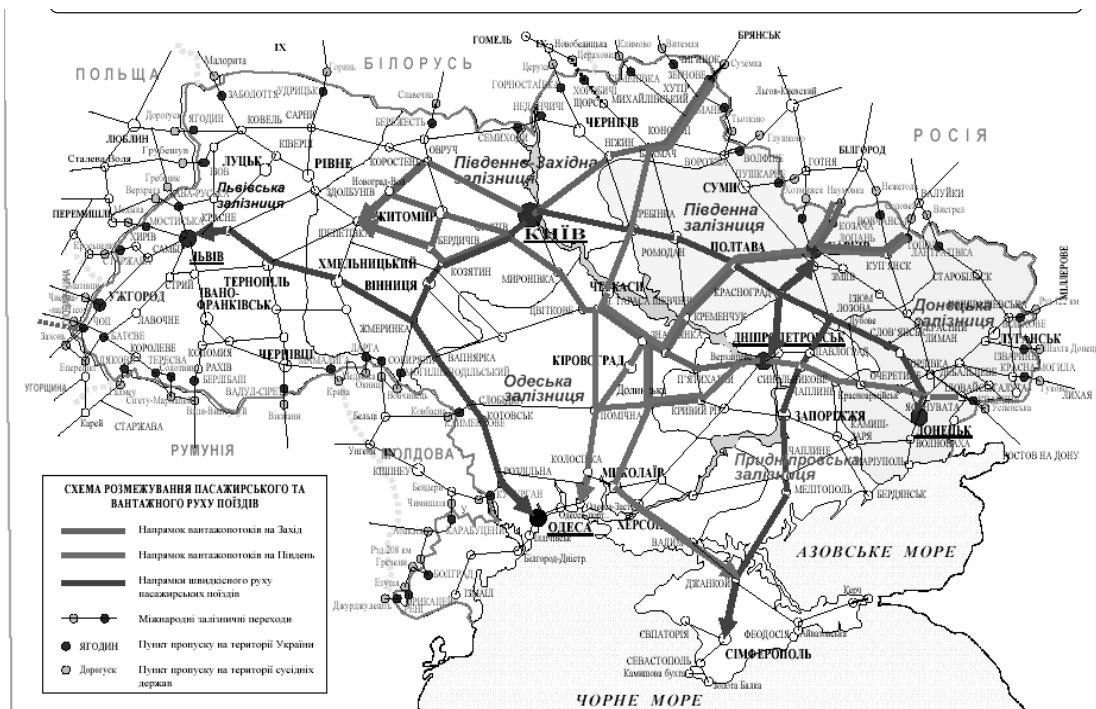


Рис. 1. Схема розмежування пасажирського та вантажного руху

Розглянемо більш детально питання енергозбереження ресурсів, необхідність вирішення якого наголошується в «Стратегії ...».

Використання електричної тяги при перевезенні вантажів і пасажирів за останні десять

років складає від 83 до 86 % у вантажному русі і близько 80 % у пасажирському русі [2]. Тому було виконано подальші дослідження стосовно електричної тяги.

Як впливає з розрахунків, результати яких наведено на рис. 2, спостерігається стабільне

зниження питомих витрат на одиницю роботи на електрифікованих напрямках залізниць.

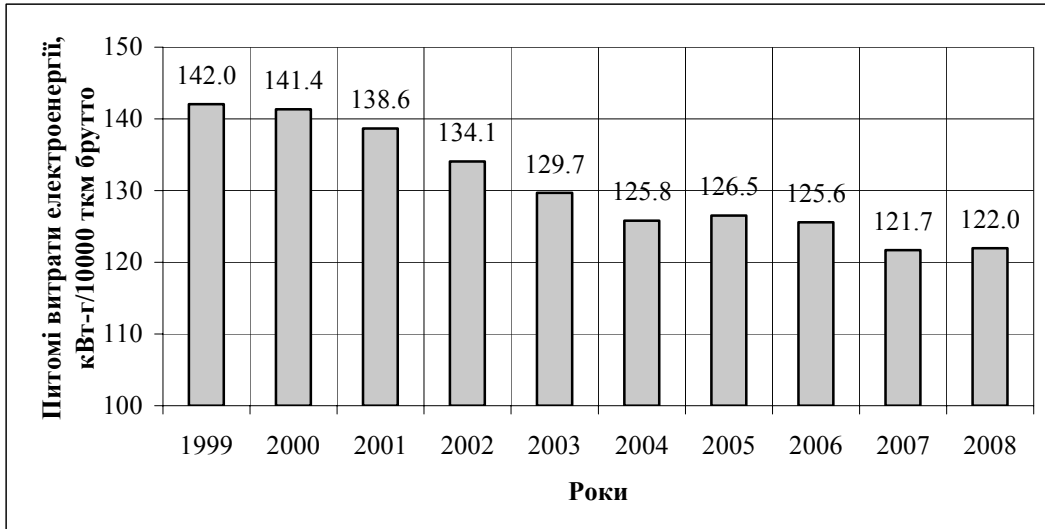


Рис. 2. Динаміка питомих витрат електроенергії при електричній тязі

Аналіз витрат колійного, локомотивного і господарства електропостачання показує, що питома вага в загальній сумі експлуатаційних витрат по колійному господарству складає від 15,4 % (Придніпровська й Південна залізниця) до 21,2 % (Львівська залізниця), по локомотивному – від 30,9 (Донецька залізниця) до 43,1 % (Південна залізниця), по господарству електропостачання цей показник змінюється від 1,7 % (Південна залізниця) до 3,0 % (Південно-Західна).

Розрахунки показали, що із загального обсягу паливно-енергетичних ресурсів найбільші витрати припадають безпосередньо на тягу поїздів. Встановлено, що чіткої залежності між витратами електроенергії і витратами на перевезення немає. Більш наглядно цей факт можна ілюструвати зміною коефіцієнта, що визначений як співвідношення витрат на перевезення до витрачених енергоресурсів на тягу поїздів (у фізичних одиницях – т.у.п.) (рис. 3).

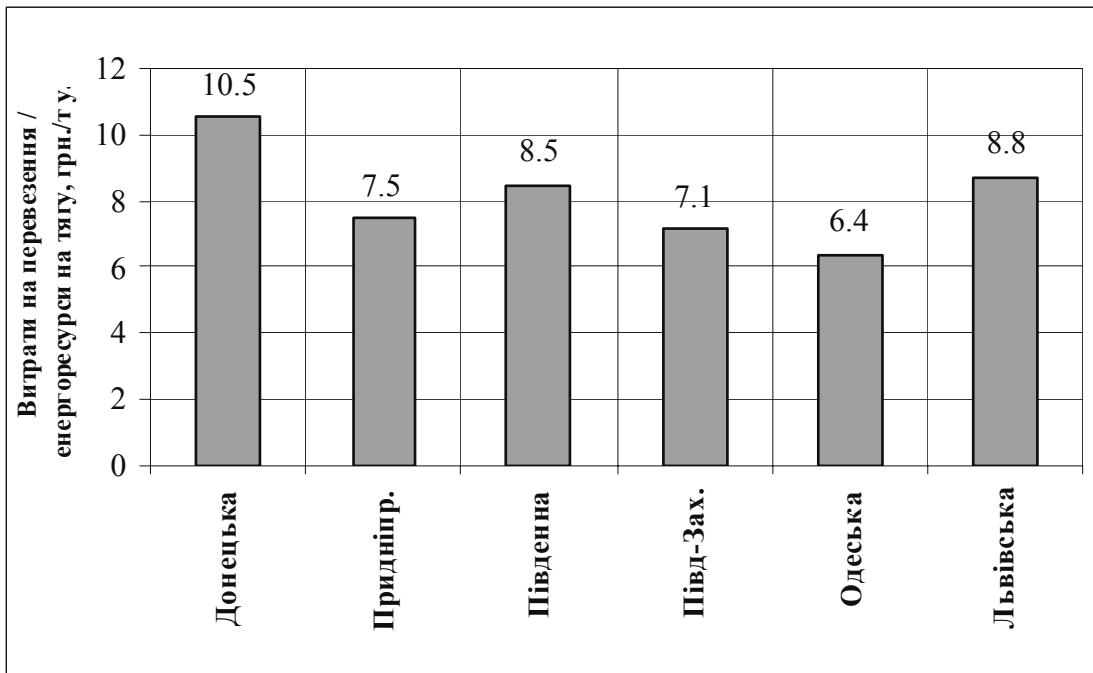


Рис. 3. Зміна співвідношення витрат на перевезення до витрачених енергоресурсів на тягу поїздів

Мета роботи – дослідити, як змінюється енергоємність вантажного поїзда, що рухається на різних ділянках залізниці, та які фактори впливають на величину споживаної електроенергії.

Системний підхід до вирішення задачі енергозбереження

Постановка і вирішення задачі енергозбереження потребує системного підходу. Для нор-

мального функціонування системи (СМЗ) необхідно мати мережу колій із роздільними пунктами (1), відповідний рухомий склад (2) та обладнання для забезпечення управління перевезеннями (3). Щоб СМЗ безупинно функціонувала, необхідні системи життєзабезпечення (4): тягове електропостачання, обслуговування, що забезпечують пасажирське, колійне, локомотивне, вагонне, енергетичне господарства (рис. 4).

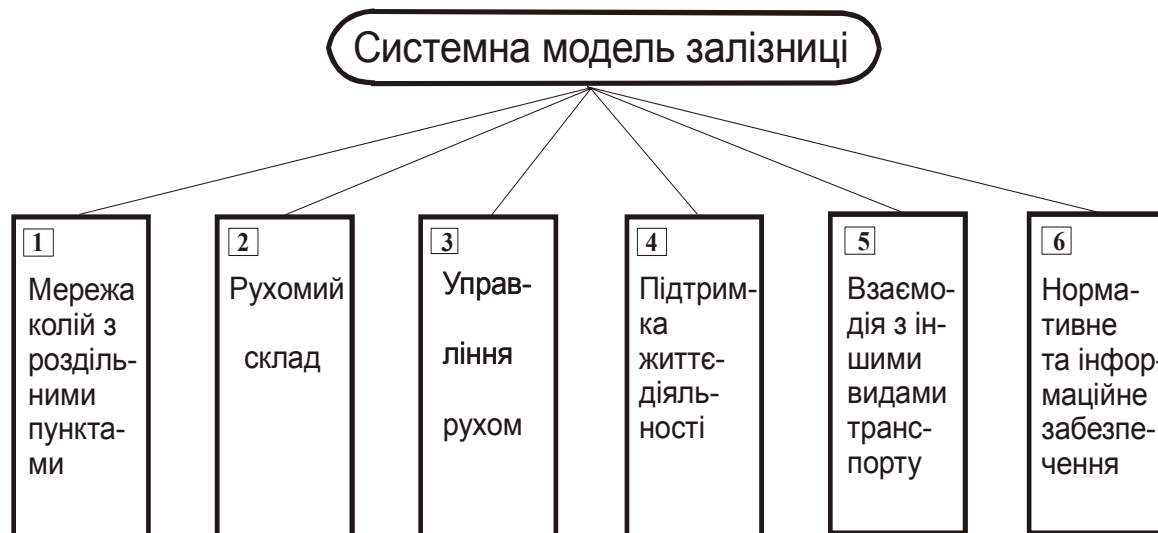


Рис. 4. Забезпечення нормального функціонування системи

Інформаційне забезпечення (6) являє собою сукупність відомостей про саму СМЗ, містить інформацію про транспортні потоки, технічні засоби транспорту, нормативну базу й інші фактори. А якість СМЗ визначається через технічну ефективність: безпеку руху, надійність пе-

реvezень, час доставки вантажів і пасажирів тощо.

Розробка технологій енергозбереження повинна базуватись на діагностиці, моніторингу і прогнозі. З цією метою було запропоновано підсистему управління енергозбереженням (рис. 5).

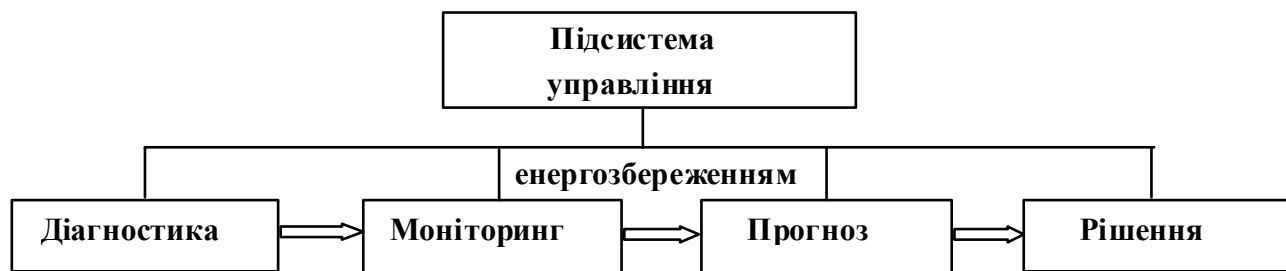


Рис. 5. Конфігурація підсистеми управління енергозбереженням

Підсистема управління енергозбереженням включає проведення комплексу заходів та інформаційного забезпечення, що входять до діагностики, моніторингу, прогнозу і прийняття рішення.

Діагностика – це система заходів, після проведення яких визначається фактичний стан параметрів плану, поздовжнього профілю, колійної інфраструктури, наявність постійних і

тимчасових обмежень швидкості руху вантажних і пасажирських поїздів тощо.

Моніторинг – це контроль за використанням електроенергії і управління щодо забезпечення її економії. Моніторингу властиві не тільки спостереження, але й аналіз інформації, що отримана в ході діагностики з послідуочим прогнозуванням.

Інформаційне забезпечення включає характеристики залізничної колії, динаміку накопичення деформацій і змін параметрів плану та поздовжнього профілю, співвідношення швидкостей руху вантажних і пасажирських поїздів, осьового навантаження.

Прогнозування передбачає можливості зміни підсистеми на основі моніторингу даної ділянки залізниці (положення кривих, поздовжнього профілю, усунення обмежень швидкості, зміна співвідношення швидкостей ва-

нтажних і пасажирських поїздів, осьового навантаження, тощо).

Рішення – це розробка управлінських дій щодо зміни самої підсистеми.

Аналіз електроенергії показав, що одними із заходів скорочення витрат повинні бути зменшення затримок і кількості неграфікових зупинок поїздів. Від загальної кількості затримок у 2008 році найбільша кількість приходить на колійне (35,3 %) господарство (рис. 6).

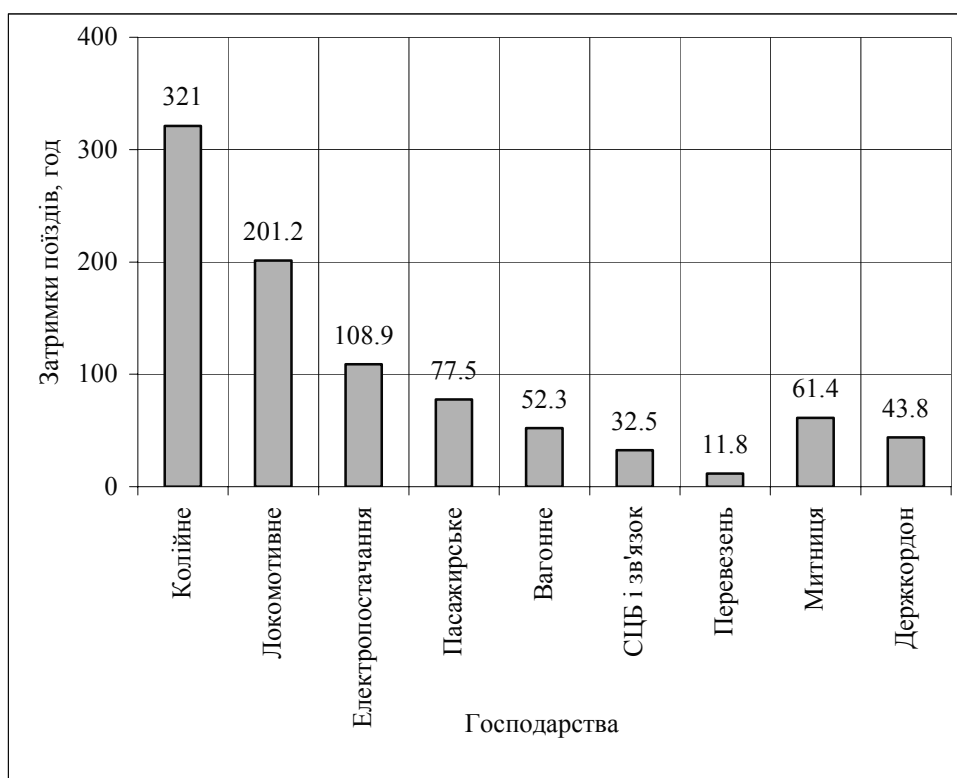


Рис. 6. Затримки поїздів по господарствах Укрзалізниці

Моніторинг за використанням електроенергії на тягу поїздів колійним господарством

представлено в табл. 1.

Таблиця 1

Моніторинг по колійному господарству

Заходи	Результат
1. Зменшення кількості тривалих і тимчасових обмежень швидкості руху поїздів	Покращується використання рухомого складу й існуючої інфраструктури
2. Перехід від великої кількості малих за тривалістю «вікон» до невеликої кількості довготривалих «вікон»	
3. Зменшення опору від кочення коліс по рейкам, що залежить від технічного стану верхньої будови колії	Знижується опір руху рухомого складу до 15 %, що призводить до зменшення зносу колії й рухомого складу, зменшенню роботи сили тяги локомотива й роботи сил опору, підвищенню швидкості руху
4. Зменшення опору від ударів в стиках рейок внаслідок нерівностей колії в профілі й плані	

Дослідження факторів, що впливають на витрати електроенергії

Дослідження виконано для мережі залізниць, що зв'язує Львів і Київ (рис. 7). Хід Львів–Здолбунів–Київ має довжину 565 км, Львів–Жмеринка–Київ – 625 км. Керівний ухил

в обох напрямках близько 8 ‰. Розрахунки виконувались за допомогою програми MovRW для різних мас рухомого складу на різних за складністю ділянках поздовжнього профілю, що дає можливість визначити вплив основних факторів на величину спожитої електроенергії.

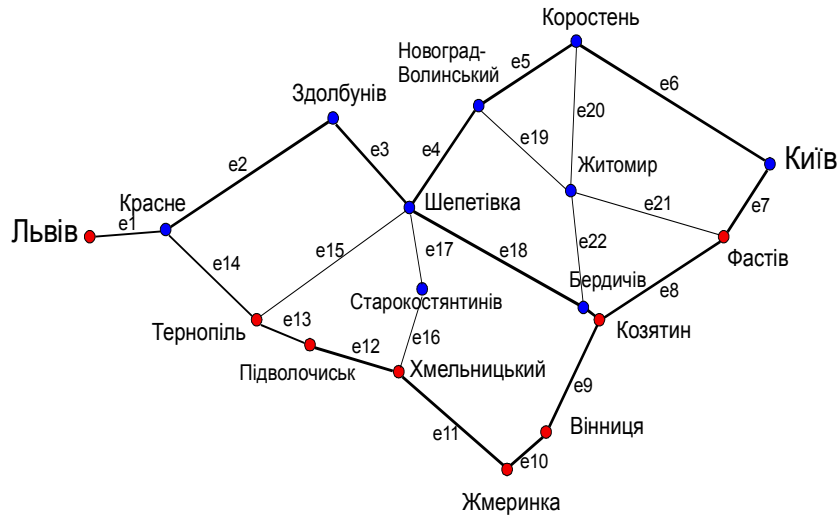


Рис. 7. Маршрути руху поїздів між Києвом і Львовом

Для визначення факторів, які впливають на енергетичні витрати, розглянемо рівняння руху поїзда

$$F_k = m a + W_o + W_i + W_r. \quad (1)$$

У виразі (1) F_k – сила тяги локомотива; m – маса поїзда; a – прискорення поїзда; W_o – сила основного опору руху; W_i , W_r – сили додаткового опору руху відповідно від ухилів і кривизни колії.

Значення основного і додаткових опорів руху, визначаються для кожного рухомого складу емпірично за даними [3, 4].

При відомій силі тяги, що витрачається на тягу поїздів, можна визначити механічну роботу локомотива на ділянці довжиною L

$$R_M = \int_l F_k ds, \quad (2)$$

де l – частина ділянки L , на якій сила тяги локомотива $F_k > 0$.

До ділянок l відносяться ділянки розгону, а також ділянки, на яких поїзд рухається з постійною швидкістю на підйомах, площадках і спусках, якщо сила додаткового опору руху від ухилу W_i і кривизни колії W_r не перевищує величини основного опору руху, тобто $(W_i + W_r) < W_o$. Основний опір руху має місце при русі поїзда по прямій і горизонтальній колії

і, в свою чергу, залежить від тертя кочення і ковзання коліс по рейках, втрат живої сили від ударів і коливань, тобто в кінцевому підсумку – від стану рухомого складу і колії.

Визначивши механічну роботу локомотива R_M і врахувавши коефіцієнт корисної дії електровоза η , визначаються витрати електроенергії на тягу поїзда [6]

$$E = \frac{R_M}{\eta}, \text{ або}$$

$$E = \left(\int_{l_1} W_o ds + \int_{l_2} W_i ds + \int_{l_3} W_r ds + \int_{l_4} ma ds \right) \frac{1}{\eta}. \quad (3)$$

Аналізуючи різні технології енергозбереження [5 – 7], приходимо до висновку, що одним із основних шляхів скорочення витрат на тягу поїздів є зменшення складових частин, що входять до формули (1).

Для порівняння енергоємності вантажного поїзда, що рухається на ділянках залізниці з різним значенням середнього ухилу, розрахунки виконані для вантажного поїзда 4000 т. Результати розрахунків для напрямку Львів–Здолбунів–Київ наведено на рис. 8 і 9 (в прямому й зворотному напрямках); для напрямку Львів–Жмеринка–Київ – відповідно на рис. 10 і 11.

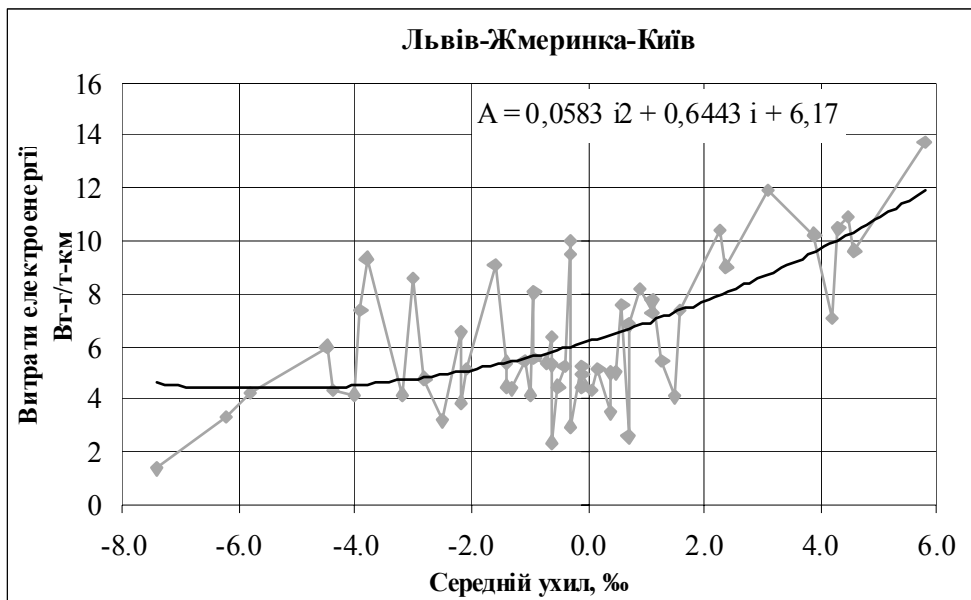


Рис. 8. Залежність витрат електроенергії від середнього ухилу (напрямок Львів-Жмеринка-Київ)

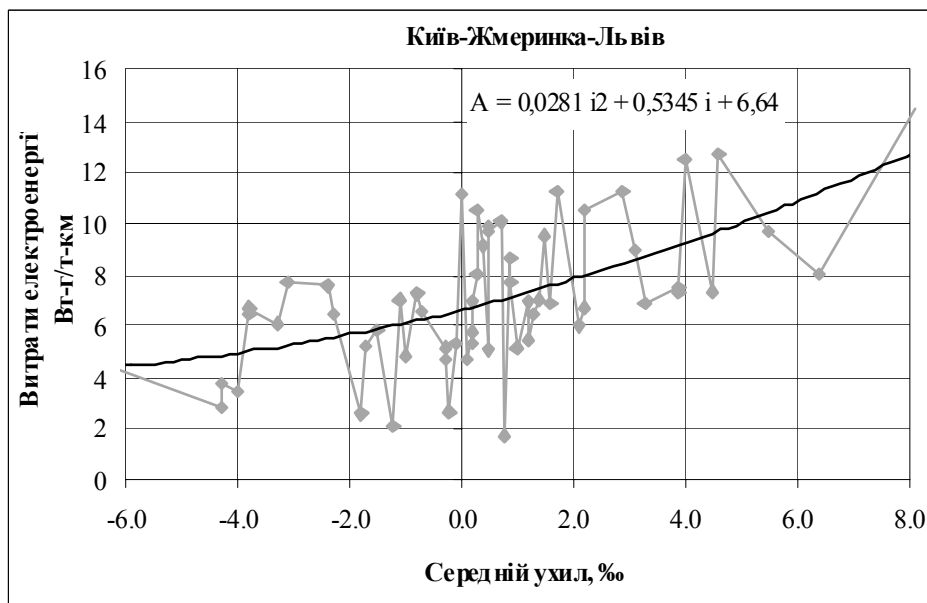


Рис. 9. Залежність витрат електроенергії від середнього ухилу (напрямок Київ-Жмеринка-Львів)

Встановлено, що витрати електроенергії (A) в залежності від середнього ухилу (i) можна описати поліномом другої степені. За знайденими на кожному напрямку аналітичними залежностями визначено витрати електроенергії для різних середніх значень ухилів (табл. 2) і встановлено, що північний хід Львів-Здолбунів-Київ за параметрами плану й профілю дещо складніший і потребує більших витрат

електричної енергії, що повинно бути враховане при розмежуванні вантажного й пасажирського руху і спеціалізації напрямків.

Безумовно, крім параметрів профілю й плану на витрати електроенергії впливає маса і кількість поїздів. Для прикладу, на рис. 12 показана залежність витрат електроенергії для парного й непарного напрямку на ділянці Коростень-Шепетівка.

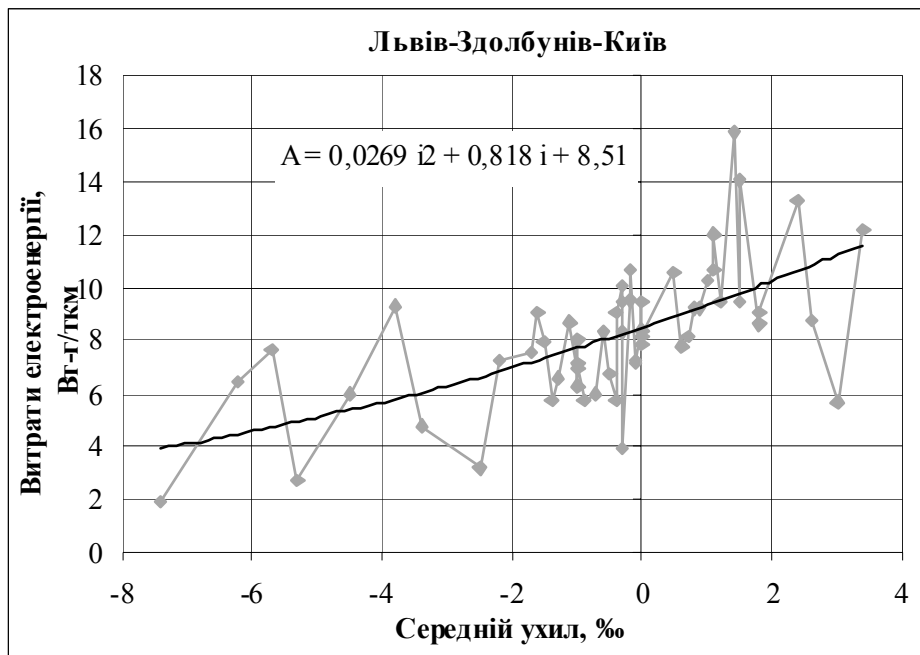


Рис. 10. Залежність витрат електроенергії від середнього ухилу (напрямок Львів-Здолбунів-Київ)

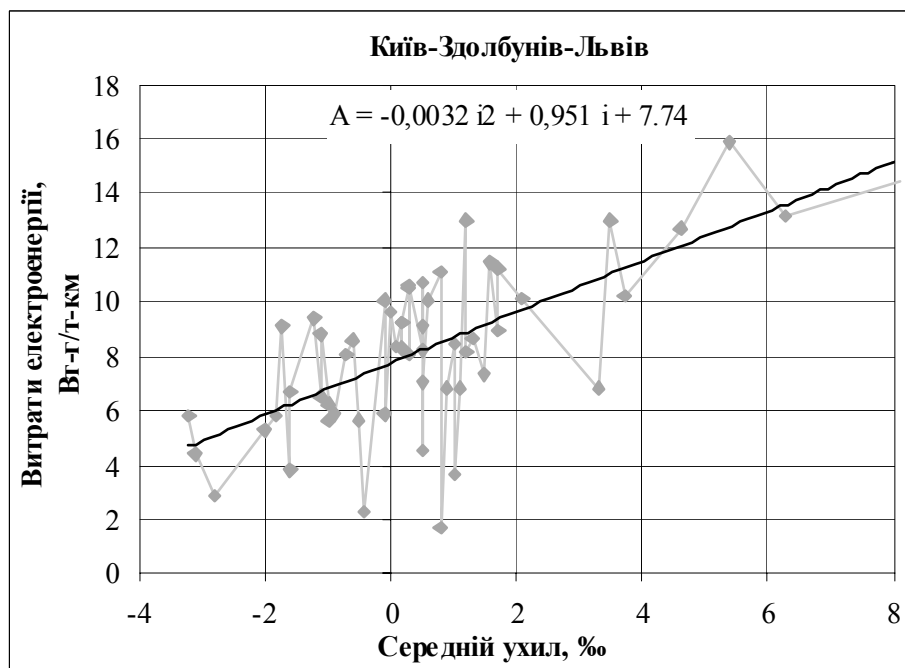


Рис. 11. Залежність витрат електроенергії від середнього ухилу (напрямок Київ-Жмеринка-Львів)

Як видно з рис. 13, залежність між витратами електроенергії і масою рухомого складу лінійна. Але при збільшенні маси зменшується кількість поїздів і загальні витрати енергії зменшуються (рис. 13).

ВИСНОВКИ

1. На основі проведеного дослідження встановлено, що на сучасному етапі постановка і вирішення задачі енергозбереження потребує системного підходу. Запропоновано підсистему

управління енергозбереженням, яка включає діагностику, моніторинг і прогноз. Представлено моніторинг по колійному господарству, що дозволяє впроваджувати конкретні заходи і передбачати очікуваний результат з енергозбереження.

2. Встановлено аналітичні залежності витрат електроенергії від середніх значень ухилів на ділянці, маси поїзда і вантажонапруженості, що

дає можливість прогнозувати і оцінювати результати заходів з енергозбереження. Показано, що північний хід Львів–Здолбунів–Київ за параметрами плану й профілю дещо складніший і потребує більших витрат електричної енергії, що повинно бути враховане при вирішенні задачі розмежування вантажного й пасажирського руху і спеціалізації напрямків.

Таблиця 2

Питомі витрати електроенергії (Вт·г/т·км) від середнього ухилу

Середній ухил, %	Львів–Жмеринка–Київ		Львів–Здолбунів–Київ	
	парний	непарний	парний	непарний
-6	4,40	4,44	4,57	1,92
-4	4,53	4,95	5,67	3,88
-2	5,12	5,68	6,98	5,83
0	6,17	6,64	8,51	7,74
2	7,69	7,82	10,25	9,63
4	9,68	9,23	12,21	11,49
6	12,13	10,86	14,39	13,33
8	15,05	12,71	16,78	15,14

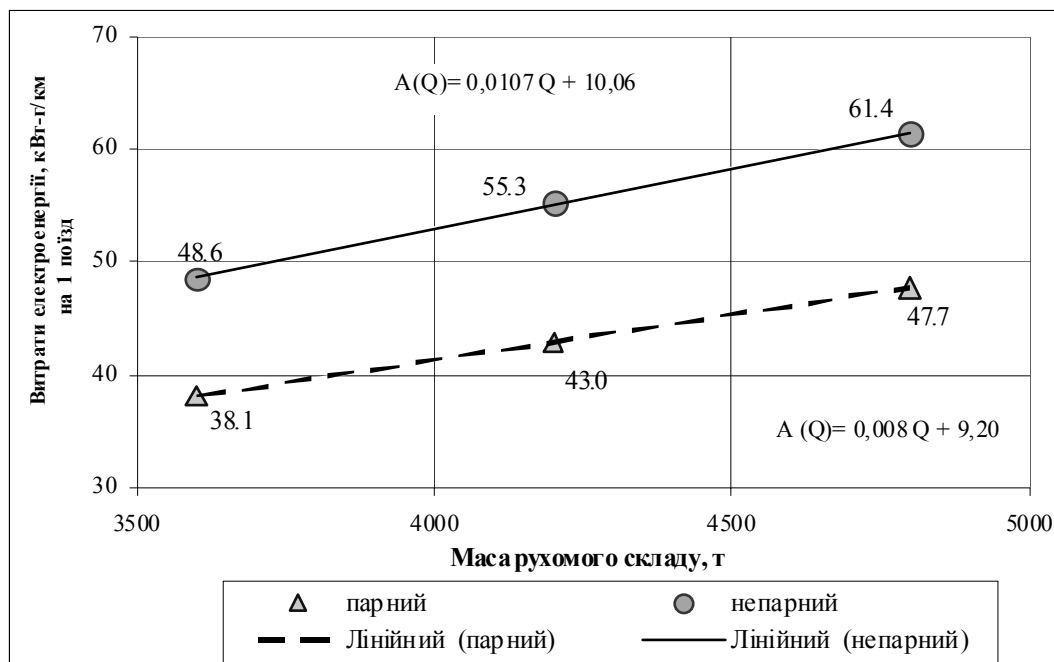


Рис. 12. Залежність витрат електроенергії на 1 поїзд на ділянці Коростень–Шепетівка

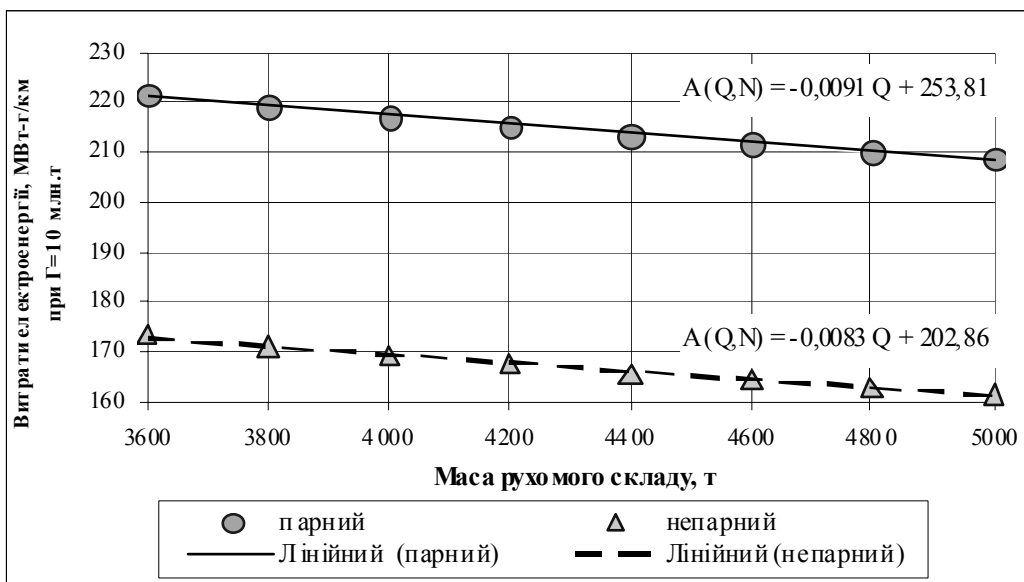


Рис. 13. Залежність витрат електроенергії від маси поїзда при вантажонапруженості 10 млн т·км/км

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Стратегія розвитку залізничного транспорту на період до 2020 року [Текст] : Схвалено розпорядженням Кабміну України від 16.12.09 № 1555-р. – К., 2009. – 5 с.
2. Інженерна записка про технічний стан залізничного транспорту України [Текст]. – К., 2008. – 137 с.
3. Правила тягових расчетов для поездной работы [Текст]. – М.: Транспорт, 1985. – 287 с.
4. Гребенюк, П. Т. Тяговые расчеты [Текст] : справочник / под ред. П. Т. Гребенюка, А. Н. Долганова, А. И. Скворцовой. – М.: Транспорт, 1987. – 272 с.
5. Впровадження технологій енергозбереження при перевезеннях залізничним транспортом на напрямку Знам'янка–Долинська–Миколаїв–Херсон–Джанкой [Текст] : техніко-економічне обґрунтування. – Д.: Дніпродіпротранс, 2008. – 179 с.
6. Метод постоянных перегонных скоростей для оценки энергозатрат на тягу поездов [Текст] / Л. А. Мугинштейн [и др.] // Вестник ВНИИЖТ. – 2000. – № 4. – С. 16-19.
7. Вплив підвищення швидості руху поїздів на витрати енергоресурсів [Текст] / І. П. Корженевич [та ін.] // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – 2008. – Вип. 22. – Д.: Вид-во ДНУЗТ, 2008. – С. 233-239.

Надійшла до редколегії 24.05.2010.
Прийнята до друку 08.06.2010.