

## ЗМЕНШЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ВИТРАТ ЗА ДОПОМОГОЮ ЕНЕРГООПТИМАЛЬНОГО РУХУ ПОЇЗДІВ

В статті виконані дослідження для зменшення вартості електроенергії на тягу поїздів в умовах оптового ринку електроенергії. Проведені розрахунки показують, що відомі раніше критерії оцінки ефективності електроспоживання в ринкових умовах недоречні.

*Ключові слова:* електроенергія, витрати, оптимізація, оптовий ринок, багатотарифна система, рух поїздів

### Вступ

Розвиток і удосконалення методів управління рухом поїздів пов'язані з необхідністю використання критеріїв мінімуму вартості електроенергії, спожитої на тягу поїздів, а в більшості випадків на залізницях застосовують критерій мінімуму спожитої електроенергії. При змінних тарифах на електроенергію задача розрахунку вартості електроенергії суттєво ускладнюється. Одночасно з цим виникають додаткові проблеми щодо зміни планування і організації процесу перевезень.

Вибір оптимальних режимів ведення поїздів являється однією з основних задач залізничного транспорту. Задача оптимального ведення поїздів, в першу чергу, визначається повнотою обліку сукупності факторів, які характеризують дільницю, моделлю руху поїзду, різноманітними факторами і умовами процесу руху поїздів.

Багато вчених займалось проблемами оптимізації транспортного потоку, основними серед них є Доманский В.Т., Землянов В.Б., Скалозуб В.В., Левин Д.Ю., Мирошніченко Р. И. Нажаль, на сьогоднішній день проблема з оптимізацією потоків поїздів з урахуванням енергетичних показників до кінця не вирішена.

На основі даних про залізничну ділянку (поїзд, локомотив, час руху, обмеження швидкості, багатотарифну оплату за спожиту електроенергію та ін.) розраховується оптимальний за вартістю режим ведення поїзда у виді карти дільничних швидкостей або перегінних часів ходу.

### Характеристики задачі вибору оптимальних режимів ведення поїздів

В цих задачах необхідно враховувати такі параметри, як координати місцезнаходження і часу; управління (номер позиції контролера); швидкість центру маси поїзда; маси локомотива і поїзда; коефіцієнт інерції мас, які обертаються; прискорення сили тяжіння; сила тяги локомотива; опір поступального руху поїзда; діюча на поїзд гальмівна сила; температура перегріву тягових електродвигунів; теплові ха-

рактеристики і струм тягового електродвигуна, сумарна сила натискання гальмівних колодок; напруга контактної мережі; сукупність випадкових факторів задачі. Крім того, необхідно враховувати наступні характеристики – активний струм електровозу, еквівалентний опір тягової мережі, тарифи на оплату електроенергії по періодам доби.

### Аналіз роботи залізниці «О» при умові вступу в оптовий ринок електроенергії

При розрахунках оптимальних режимів руху поїздів виділяються три часові зони. Відмінність значень ціни електроенергії для різних зон наведено в табл.1. та споживачів табл. 2.

Таблиця 1

Коефіцієнт зонного обліку				
Тарифна зона	Січень, лютий, листопад, грудень	Березень, квітень, вересень, жовтень	Травень, червень, липень, серпень	Коефіцієнт
Пік	з 8-00 до 10-00; з 17-00 до 21-00.	з 8-00 до 10-00; з 18-00 до 22-00.	з 8-00 до 11-00; з 20-00 до 23-00.	1,68
Напівпік	з 6-00 до 8-00; з 10-00 до 17-00; з 21-00 до 23-00.	з 6-00 до 8-00; з 10-00 до 18-00; з 22-00 до 23-00.	з 7-00 до 8-00; з 11-00 до 20-00; з 23-00 до 24-00.	1,02
Ніч	з 23-00 до 6-00.	з 23-00 до 6-00.	з 24-00 до 7-00.	0,35

Функція ціни на оптовому ринку електроенергії прогнозується оператором ринку, в залежності від показників маневрової потужності генерації і собівартості.

### Моделювання режимів ведення поїздів

Розрахунки споживання електроенергії на тягу поїздів на дільниці «З-П-К-О-С», виконані для вантажних поїздів в квітні місяці, показали відмінності в показниках вартості ефективності.

Представлені графіки фактичного споживання електроенергії при веденні вантажних та пасажирських поїздів на дільниці. Варто зазначити важливу особливість організації процесів пере-

Таблиця 2

Вартість електроенергії споживачів			
Найменування показника	Клас напруги	Період часу	Величина показника без ПДВ, коп/кВт·год
Тризонні тарифи, диференційовані за періодами часу	1 клас	Нічний	26,030
		Напівпіковий	75,857
		Піковий	124,942
	2 клас	Нічний	33,135
		Напівпіковий	96,563
		Піковий	159,046

везень, оптимальних по критерію мінімуму вартості спожитої на тягу електроенергії. При вартісній оптимізації для ділянок необхідно створення пакету режимних карт, кожна з яких повинна використовуватись в різні періоди доби.

В умовах ринку електроенергії задачі щодо розрахунку оптимальних режимів ведення поїздів повинні вирішуватися у взаємозв'язку з задачами по оцінюванню ефективності застосування змінних тарифів оплати електроенергії. Для забезпечення можливості такого комплексного аналізу необхідно розробляти уточнюючі критерії ефективності застосування змінних тарифів оплати для розрахунків оптимальних режимних карт ведення поїздів електроенергії з врахуванням споживання активної та реактивної. Для визначення економічної доцільності важливо знати обсяги спожитої електроенергії на тягу поїздів по періодам доби, а й співвідношення між цими показниками. На рис. 1 – 7 показано як було змінено рух поїздів на тягових підстанціях 1 – 7 ділянки «З-П-К-О-С».

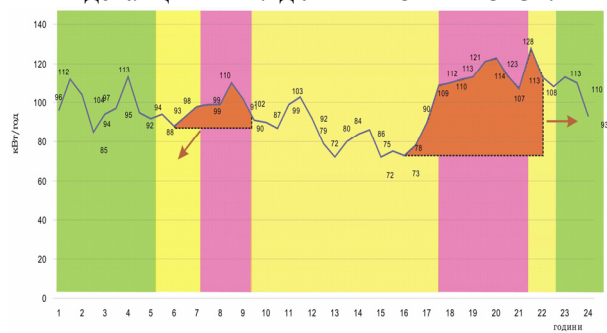


Рис. 1. Профіль потужності тягової підстанції 1

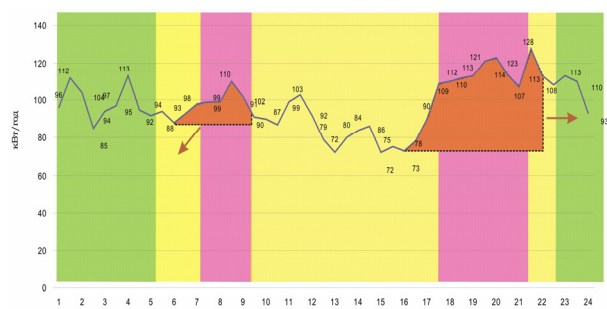


Рис. 2. Профіль потужності тягової підстанції 2

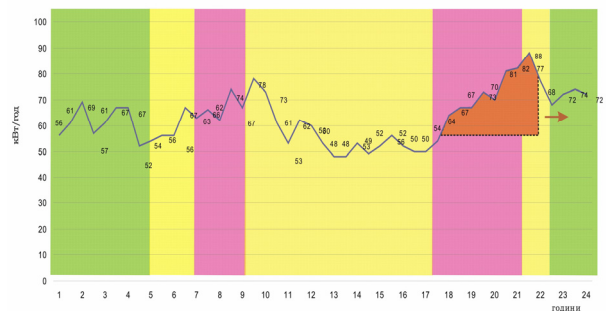


Рис. 3. Профіль потужності тягової підстанції 3

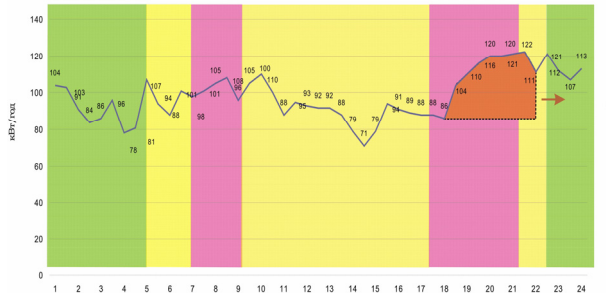


Рис. 4. Профіль потужності тягової підстанції 4

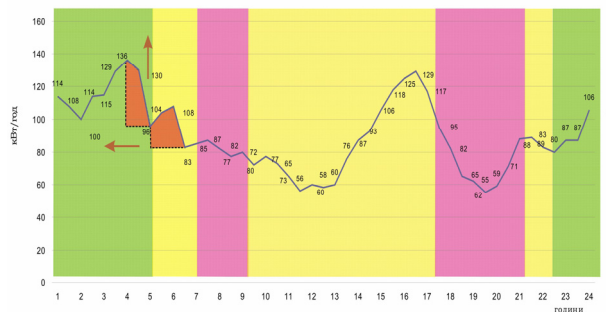


Рис. 5. Профіль потужності тягової підстанції 5

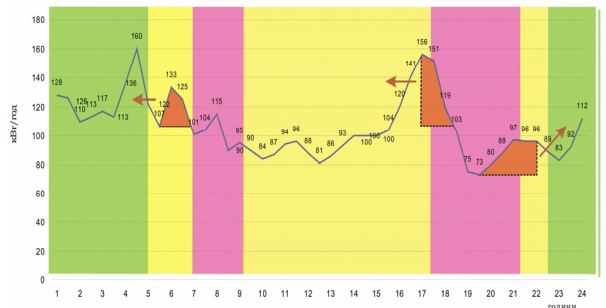


Рис. 6. Профіль потужності тягової підстанції 6

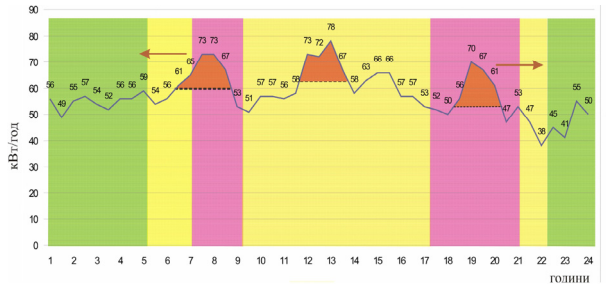


Рис. 7. Профіль потужності тягової підстанції 7

Результати розрахунку економії на підстанціях 1 – 7 при зміні графіку руху вантажних поїздів

їздів з пікових (напівпікових) зон в нічні зони наведено в табл. 3.

Таблиця 3

Розрахункові показники економії	
№ підстанції	Річна економія, грн.
1	1730000
2	3350000
3	415000
4	1330000
5	180000
6	1145000
7	759000
Разом	8909000

Проаналізуємо розрахункові витрати електроенергії на напрямку «З-О-С». Дані для розрахунку наведено у табл. 4.

Таблиця 4

Розрахункові дані				
Ділянка	Парний напрямок, у.в.	Непарний напрямок, у.в.	Довжина ділянки, км	Локомотив
З-П	64	64	173.3	ВЛ-80
К-П	61	64	142.7	ВЛ-80
К-О-С	59	61	117.8	ВЛ-80

Розрахунок необхідної потужності електровозів при різних вагових нормах на ділянках «З-П», «П-К», «К-О-С» приведені в табл. 5–7.

Таблиця 5

Витрати на ділянці «З-П»	
Потужність, кВт	Вага, т
7309	4000
7796	4500
8817	5000
9282	5500
10746	6000
11713	6500
12200	7000
12729	7500
13241	8000
13830	8500

Таблиця 6

Витрати на ділянці «П-К»	
Потужність, кВт	Вага, т.
5968	4000
7451	4500
7923	5000
8448	5500
9001	6000
9580	6500
10156	7000
10566	7500
10969	8000
11423	8500

Таблиця 7

Витрати на ділянці «К-О-С»	
Потужність, кВт	Вага, т.
4838	4000
5875	4500
6234	5000
6645	5500
7114	6000
7790	6500
8111	7000
8597	7500
9008	8000
9533	8500

Сумарні витрати електроенергії на ділянці довжиною 433,8 км «З-О-С» наведено в табл. 8.

Таблиця 8

Витрати на ділянці «З-О-С»			
Вагова норма, т	Сумарні витрати електроенергії, кВт·год	Сумарна вартість витрат, грн	Витрати ресурсів на 1 км, грн
4000	18116,6	8695,9	20,04
4500	21123,4	10139,2	23,37
5000	22969,7	11025,4	25,41
5500	24376,3	11700,6	26,97
6000	26862,8	12894,1	29,72
6500	29184,7	14008,6	32,29
7000	30471,2	14626,1	33,71
7500	31894,1	15309,1	35,29
8000	33219,1	15945,1	36,75
8500	34787,7	16698	38,49

Результати одержані із застосуванням прийнятої в Укрзалізниці методики і програмних засобів за розрахунком нормативних графіків ведення вантажних поїздів показують, що умови ОПЕ припускають необхідність застосування режимних карт по раціональному управлінню тягою поїзда.

Це найбільш актуально за умови постійного зростання вартості електроенергії на тягу поїздів.

Проведено аналіз зростання тарифів за період 2004 – 2010 рік та відповідна динаміка споживання електроенергії (табл. 9, 10).

Таблиця 9

Динаміка споживання електроенергії				
Рік	Об'єм перевезень, млн т·км брутто	Електро-тяга, млн т·км брутто	Витрати електроенергії, млн кВт·год	Сума сплати за електроенергію, млн грн
2004	105585	86819	1118,8	261
2005	101926	84565	1097,5	289
2006	104335	93639	1112,8	352
2007	112542	93639	1166,8	428
2008	114409	95031	1170,1	581
2009	98846	84904	1044,2	689
2010	97514	85739	1076,7	816

Таблиця 10

Рік	Ріст вартості середніх тарифів, %	
	Клас напруги	
	1 клас 16,3 коп/кВт·год	2 клас 24,97 коп/кВт·год
2004	100	100
2005	113	109
2006	135	122
2007	161	141
2008	225	196
2009	269	235
2010	323	282

### Висновки

1. Проведені дослідження, які дозволяють зменшити вартість електроенергії на тягу поїздів, спожитої в умовах застосування змінних тарифів, насамперед для умов оптового ринку електроенергії.

2. Розрахунки показали, що враховуючи змінні за періодами доби тарифи на електричну енергію, одержані раніше рекомендації для вибору оптимальних відносно витрат енергії режимів ведення поїзда виявляються обмеженими.

3. Розроблено більш загальні методи розрахунків режимів управління рухом поїздів, які враховують як змінність за періодами доби тарифів, так і відмінність у ціні активної і реактивної складових енергії.

4. Необхідно створити програмні засоби, які дадуть можливість виконати аналіз вигідності закупівлі електроенергії на основі змінних тарифів, якщо відомий графік руху, а також розрахувати оптимальні по критерію мінімуму вартості режимні карти управління тягою поїздів.

### БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Марквардт, К. Г. Электроснабжение электрифицированных железных дорог [Текст] / К. Г. Марквардт. – М.: Транспорт, 1982.
2. Землянов, В. Б. Энергооптимальные технологии анализа та регулювання електроспоживання на тягу поїздів [Текст]: автореф. дис. канд.техн. наук: 05.22.09 / В. Б. Землянов; [ДНУЗТ].: 2000. – 23 с.
3. Левин, Д. Ю. Оптимизация потоков поездов [Текст] / Д. Ю. Левин. – М.: Транспорт, 1988. – 175 с.
4. Інструкція з розрахунку наявної пропускної спроможності залізниць України [Текст]: Навч.-метод. посіб. / Розробники О.Ф. Вергун та ін. – К.: Транспорт України, 2002. – 376 с.
5. Абрамов, А.А. График движения поездов и пропускная способность [Текст] / А. А. Абрамов. – М.: РГОТУПС, 2002. – 170 с.

Надійшла до редколегії 30.10.2012.

Прийнята до друку 09.11.2012.

Н. А. ЛОГВИНОВА, Д. А. БОСЫЙ, А. Н. ПОЛЯХ (ДИИТ)

## УМЕНЬШЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ РАСХОДОВ С ПОМОЩЬЮ ЭНЕРГООПТИМАЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ ПЕЗДОВ

В статье выполнены исследования по уменьшению стоимости электроэнергии на тягу поездов в условиях оптового рынка электроэнергии. Проведенные расчеты показывают, что известные ранее критерии оценки эффективности электропотребления в рыночных условиях неуместны.

*Ключевые слова:* электроэнергия, расход, оптимизация, оптовый рынок, многотарифная система, движение поездов

N. A. LOGVINOVA, D. O. BOSIY, O. M. POLYAN

## REDUCED OPERATING COSTS BY TRAIN TRAFFIC OPTIMIZATION

The paper conducted research to reduce the cost of electricity for traction power in the wholesale electricity market. Our calculations show that the previously known criteria for evaluating energy consumption in the market conditions are irrelevant.

*Keywords:* electricity consumption, optimization, wholesale market, multi-rate system, trains traffic