

УДК 681.325

ГАЙДЕНКО О.С., аспірант (Державний економіко-технологічний університет транспорту)

Оптимізація графіка руху потяга для використання тризонного диференційованого тарифу оплати спожитої електроенергії

Сформовано підходи і розроблено алгоритм зміни графіка руху потяга для досягнення ліпшого економічного ефекту при оплаті електроенергії залізницею згідно з тризонним диференційованим тарифом. Алгоритм враховує час руху потяга з моменту відправлення до прибуття на кінцеву станцію та працює за принципом максимального перенесення графіка руху з часу пікових тарифних зон при мінімальному зміщенні графіка.

Ключові слова: мінімізація оплати електроспоживання, алгоритм, дерево рішень, диференційований тариф, тарифні зони.

Постановка проблеми

Реалізація енергозберігаючих технологій перевізного процесу на електрифікованих лініях залізниці можлива за рахунок формування упорядкованого графіка руху потягів, оперативного аналізу і вирівнювання електроспоживання автоматичними системами управління, розумного використання тарифів при оплаті за електроенергію.

Перспективним є застосування тризонного диференційованого тарифу (ДТ), проте без зміни графіка руху потягів воно вигідне не у всіх випадках [1]. Споживання електроенергії в основному обумовлюється обсягами перевезень [2]. Тому на практиці часто застосування тризонного ДТ вимагає перенесення навантаження на мережу з пікового періоду пріоритетно в нічний або в напівпіковий шляхом зміни графіка руху потягів.

Очевидно, що зміна графіка руху для застосування тризонного ДТ має великий потенціал мінімізації оплати електроспоживання.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Для перенесення таких енергоємних технологічних процесів виробництва як залізничні перевезення на час дії пільгових зон комерційних тарифів необхідними є планування і мінімізація вартості витрат, пов'язаних із перенесенням [3].

Оптимальний графік руху потяга є таким, якщо його вартість мінімальна [4].

У наш час актуальність розробки наукових підходів до пошуку оптимального графіка руху потяга зростає в результаті різкого подорожчання енергоносіїв. Тому вирішенню даного питання присвячено роботи вітчизняних вчених [3-6].

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми

Питанню адаптації промисловості до застосування комерційних ДТ присвячено чимало кількості робіт, проте в окремо взятій галузі залізничного транспорту рішення даного питання потребує врахування дуже великої кількості факторів. Неможливо взяти і перенести все виробництво на час дії пільгового тарифу. Пасажирські перевезення априорі повинні здійснюватися у різний час доби. Для перенесення вантажних перевезень на період дії нічної тарифної зони необхідне врахування пропускну здатності залізниць і станцій, місткості складів тощо. Це унеможливує простий перехід на комерційні ДТ і вимагає досліджень усіх факторів, які впливають на раціональність зміни графіка руху потягів. Одним із критеріїв створення оптимального графіка руху для застосування ДТ, якому не було приділено достатньої уваги, є тривалість руху потяга згідно з діючим графіком.

Формування мети

Метою роботи є дослідження особливостей значення часу потяга в дорозі при оптимізації графіка руху потяга до використання тризонного диференційованого тарифу оплати спожитої електроенергії та розробка методу його комп'ютерної адаптації.

Основний матеріал дослідження

На сьогоднішній день протягом доби згідно з тризонним ДТ існує шість відрізків часу, кожному з яких відповідає один із тарифних коефіцієнтів оплати електроенергії, причому час доби та тривалість інтервалу часу, коли діє один коефіцієнт, змінюється залежно від календарного місяця (табл. 1) [7,8].

Таблиця 1

Тарифні коефіцієнти і тривалість тарифних зон тризонного ДТ

Періоди часу та відповідні їм тарифні коефіцієнти	Межі тарифних зон та їх тривалість (год)					
	січень, лютий, листопад, грудень	Тривалість періоду	березень, квітень, вересень, жовтень	Тривалість періоду	травень, червень, липень, серпень	Тривалість періоду
Нічний $A_n = 0,25$	з 23 до 6	$T_n = 7$	з 23 до 6	$T_n = 7$	з 24 до 7	$T_n = 7$
Напівпіковий $A_{nn} = 1,02$	з 6 до 8	$T_{nn1} = 2$	з 6 до 8	$T_{nn1} = 2$	з 7 до 8	$T_{nn1} = 1$
	з 10 до 17	$T_{nn2} = 7$	з 10 до 18	$T_{nn2} = 8$	з 11 до 20	$T_{nn2} = 9$
	з 21 до 23	$T_{nn3} = 2$	з 22 до 23	$T_{nn3} = 1$	з 23 до 24	$T_{nn3} = 1$
Піковий $A_n = 1,80$	з 8 до 10	$T_{n1} = 2$	з 8 до 10	$T_{n1} = 2$	з 8 до 11	$T_{n1} = 3$
	з 17 до 21	$T_{n2} = 4$	з 18 до 22	$T_{n2} = 4$	з 20 до 23	$T_{n2} = 3$

Зважаючи на те, що зміна графіка руху несе за собою додаткові затрати, питання пошуку оптимального часу відправлення, з точки зору використання ДТ, стоїть насамперед для потягів, час руху яких припадає на піковий період дії ДТ (T_{n1} і T_{n2}). Графік потягів, який лежить у межах періодів T_{nn1} , T_{nn2} , T_{nn3} , T_n і не заходить у межі пікових періодів, міняти не слід.

Для проведення дослідження згідно з поставленою метою розглянемо потяг, який рухається з початкової до кінцевої станції протягом часу T . Опишемо тривалість руху потяга через періоди дії тарифних зон, під час яких він здійснює рух:

$$T = \alpha_1 \cdot T_n + \alpha_2 \cdot T_{nn1} + \alpha_3 \cdot T_{n1} + \alpha_4 \cdot T_{nn2} + \alpha_5 \cdot T_{n2} + \alpha_6 \cdot T_{nn3}, \quad (1)$$

де $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4, \alpha_5, \alpha_6$ – коефіцієнти, які означають, на скільки час руху потяга збігається з часом дії відповідної йому тарифної зони.

Завданням комп'ютерної адаптації графіка є раціональне розміщення відрізка часу руху потяга T протягом доби з метою мінімізації плати за електричну енергію при використанні ДТ. Візуалізацію поставленої задачі (рис. 1) використано для розробки алгоритму.

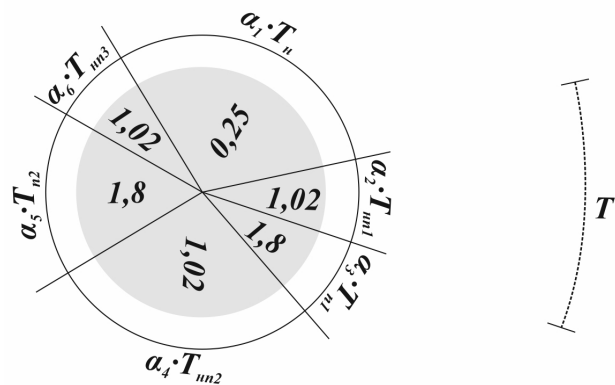


Рис. 1. Візуальне відображення поставленої задачі

Принцип його роботи полягає у максимальному перенесенні графіка руху з пікових зон при мінімальному його зміщенні. При цьому пріоритетною для перенесення до неї графіка є нічна тарифна зона. Розроблений алгоритм здатний надати пропозицію раціонального, з точки зору застосування, тризонного ДТ зміни графіка руху потяга, тривалість руху якого не перевищує однієї доби. Для такого потяга значення кожного з коефіцієнтів α лежить у межах від 0 до 1. Алгоритм побудовано на основі властивостей цих коефіцієнтів. Під час дії тарифної зони, якій відповідає коефіцієнт α_n (n – порядковий номер), потяг перебуває у наступному стані (табл. 2).

Виразення стану руху потяга через коефіцієнти α

$\alpha_n = 1$	поїзд здійснює рух за графіком протягом усього часу дії тарифної зони
$\alpha_n = 0$	поїзд за графіком під час дії даної тарифної зони рух не здійснює
$\alpha_n < 1, \alpha_{n-1} \in (0;1]$	поїзд закінчив рух
$\alpha_n < 1, \alpha_{n+1} \in (0;1]$	поїзд відправився
$\alpha_n \leq 1, \alpha_{n-1} = 0,$ $\alpha_{n+1} = 0$	відправлення та прибуття потяга відбувається під час дії даного тарифу
$\alpha_n = 1, \alpha_{n-1} = 0$	час відправлення потяга збігся із початком дії тарифної зони
$\alpha_n = 1, \alpha_{n+1} = 0$	час прибуття потяга збігся із закінченням дії тарифної зони

Алгоритм побудовано у вигляді деревоподібної структури. Як і типові для інтелектуального аналізу даних дерева рішень, він складається з набору правил та результатів [9]. Після здійснення ідентифікації тарифних зон, до яких відноситься старий (чинний) графік руху потяга, алгоритм пропонує оптимальне зміщення графіка.

Функціонально алгоритм складається з трьох блоків, у залежності від пікової зони, в якій лежить старий (чинний) графік руху. Перед виконанням одного з блоків проводиться перевірка доцільності застосування алгоритму, яка фактично визначає, чи рухається потяг під час дії пікової тарифної зони (рис. 2).

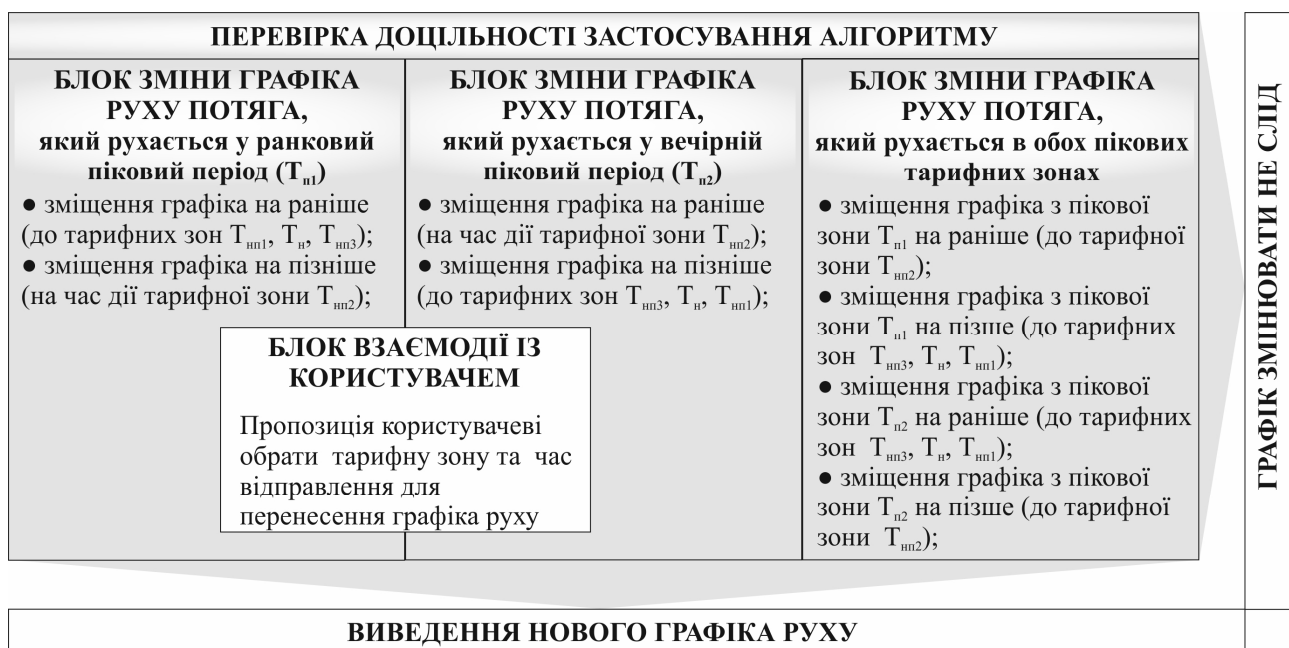


Рис. 2. Функціональна схема розробленого алгоритму

У випадках, коли тривалість руху потяга менша за довжину пікової зони, в якій лежить графік ($T < T_{n1}$ і $T < T_{n2}$), алгоритм не може надати однозначної рекомендації для перенесення графіка, адже за таких умов критерії, на основі яких він побудований, стають неважливими. Тому для забезпечення універсальності алгоритму створено «Блок взаємодії із користувачем»

(рис. 2), який пропонує користувачеві обрати нічну або одну з прилеглих до пікової напівпікових тарифних зон для перенесення до неї графіка руху.

За умови, коли графік руху потяга лежить у всіх шести тарифних зонах, а його відправлення та прибуття припадають на період T_{nn2} (рис. 3), може виникнути ситуація, коли зміщення графіка призведе до витрат, більших за досягнутий економічний ефект.

Для перерахованих випадків при застосуванні даного алгоритму необхідна експертна оцінка для врахування затрат, пов'язаних із перенесенням графіка руху.

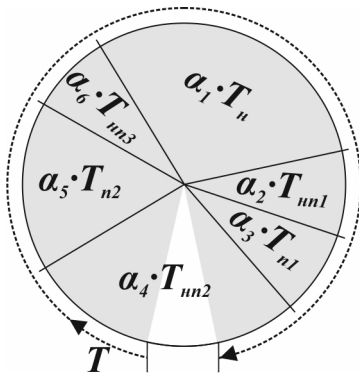


Рис. 3. Часова діаграма руху потяга в усіх тарифних зонах із відправленням та прибуттям у зоні T_{nn2}

Висновки

1. На основі проведених досліджень сформовано підходи і розроблено алгоритм зміни графіка руху потяга для економії коштів при оплаті електроенергії залізницею згідно з трizonним диференційованим тарифом. Алгоритм враховує час руху потяга від станції відправлення до кінцевої станції, при цьому максимально переносить із пікових зон графік руху при мінімальному його зміщенні.

2. Результати досліджень показали, що для розробки програмного забезпечення, яке дозволяло б автоматично адаптувати діючий графік руху потягів до застосування диференційованих тарифів, необхідні подальші дослідження факторів, які впливають на вартість та доступність зміни графіка.

Література

1. Гайденко О.С. Комп'ютерно-орієнтована математична модель оцінки ефективності тарифної системи оплати за спожиту електроенергію залізницею [Текст] / О.С. Гайденко // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті, науково-технічний журнал, № 4, 2016 – С. 10-14
2. Малишко І.В. Споживання електроенергії та енергозбереження на залізничному транспорті України [Текст] / І.В. Малишко, Л.І. Малишко, Л.В. Пилипенко, В.І. Романко // Вісник ДНУЗТ імені академіка В. Лазаряна. – Вип. 12. – 2006. – С.245-248
3. Щербакова І.А. Математические модели компьютерного анализа и оптимизации стоимости электроэнергии по коммерческим тарифам с учетом затрат для изменения графика движения поездов [Текст] / И.А. Щербакова, А.И. Стасюк //

Информационно-керуючі системи на залізничному транспорті, науково-технічний журнал, № 4, 2014 – С.7-12

4. Питула М.Г. Алгоритм побудови графіка руху потягів [Текст] / М.Г. Питула, Р.Р. Шпакович // Вісник Нац. ун-ту «Львівська політехніка». Комп'ютерні науки та інформаційні технології. – Львів, № 629, 2008. – С.146-152
5. Щербакова І.А. Математические модели и компьютерно – ориентированные методы оптимизации стоимости электропотребления на основе дифференцированных коммерческих тарифов [Текст] / И.А. Щербакова, А.И. Стасюк // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті, науково-технічний журнал, № 3, 2014 – С.83-90
6. Баланов В.О. Анализ факторов, влияющих на обеспечение движения грузовых поездов по расписанию [Текст] / В.О. Баланов // Збірник наукових праць ДНУЗТ ім. акад. В. Лазаряна «Транспортні системи та технології перевезень». – Вип. 10. – 2015. – С.5-9
7. Тарифи на електроенергію для юридичних споживачів [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.energo.uz.ua/index.php?id=27>
8. Постанова НКРЕ від 22.01.2015 № 37 «Про внесення зміни до постанови НКРЕ від 20 грудня 2001 року № 1241» [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.nerc.gov.ua/?id=13510>
9. Sang Jun Lee A review of data mining techniques [Text] / Sang Jun Lee, Keng Siau // Industrial Management & Data Systems, Vol. 101 Iss: 1, pp.41–46

Гайденко О. С. Оптимизация графика движения поезда для использования трехзонного дифференцированного тарифа оплаты потребленной электроэнергии. Сформированы подходы и разработан алгоритм изменения графика движения поезда для достижения лучшего экономического эффекта при оплате электроэнергии железной дорогой согласно трехзонного дифференцированного тарифа. Алгоритм учитывает время движения поезда от станции отправления до прибытия на конечную станцию.

Ключевые слова: минимизация оплаты электропотребления, алгоритм, дерево решений, дифференцированный тариф, тарифные зоны.

O. Haidenko. Optimization of the train's schedule to use three-zone differentiated tariff for consumed electricity payment. The algorithm of change the train schedule to achieve better economic effect of the electricity payment by railroad in accordance with

differentiated three-zone tariff is developed. The algorithm takes into account the train movement time from the station of departure to arrival at the final station. The principle of its work is the maximum transfer schedule from peak tariff zones time with a minimal schedule shifting. In this case priority to transfer the train schedule is given to the time of night tariff zone. In order to ensure the universality of algorithm for specific cases, where the criteria, on which the algorithm is built, are not important to uniquely proposal of train schedule changing, use expert evaluation is offered. The algorithm can provide a rational offer of change the schedule of train, which traffic length does not exceed one day. The algorithm can be used for automation drafting process of train schedule.

Key words: electric power consumption payment minimization, algorithm, decision tree, differentiated tariff, tariff zones.

Рецензент д.т.н., професор Мараховський Л.Ф.
(ДЕТУТ)

Поступила 30.09.2016

Гайдєнко О.С., аспірант кафедри «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології транспорту», Державний економіко-технологічний університет транспорту, Київ, Україна.

O.S. Haidenko, postgraduate of department «Automation and Computer-Integrated Technologies of Transport department», State University for Transport Economy and Technologies, Kyiv, Ukraine.