

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ, МОЛОДІ ТА СПОРТУ УКРАЇНИ
ДНІПРОПЕТРОВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ
імені академіка В. Лазаряна

Іванов Олександр Петрович

УДК 629.4.016.12

**Удосконалення режимів тяги поїздів за вартісними показниками
при змінних тарифах на електроенергію**

05.22.07 - рухомий склад залізниць та тяга поїздів

АВТОРЕФЕРАТ
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Дніпропетровськ – 2013

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Дніпропетровському національному університеті залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, Міністерство освіти і науки, молоді та спорту України

Науковий керівник

доктор технічних наук, професор
Скалозуб Владислав Васильович
Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, декан факультету «Технічна кібернетика»

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук, професор
Кельріх Мусій Борисович,
Державний економіко-технологічний університет транспорту, кафедра вагонів, завідувач кафедри

кандидат технічних наук, доцент
Яцько Сергій Іванович,
доцент кафедри електрорухомого складу, Українська державна академія залізничного транспорту.

Захист відбудеться 22 лютого 2013 р. о 14 год. 30 хв. на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 08.820.02 Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна за адресою: 49010, м. Дніпропетровськ, вул. Лазаряна, 2, ауд. 314

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна за адресою: 49010, м. Дніпропетровськ, вул. Лазаряна, 2, ауд. 262.

Автореферат розісланий 21 січня 2013 року.

Вчений секретар спеціалізованої вченої ради, професор

І.В. Жуковицький

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Залізничний транспорт України один з найбільших у країні споживачів паливно-енергетичних ресурсів. За рік він споживає тільки на тягу поїздів більше чотирьох мільярдів кВт•г електроенергії. Тому скорочення експлуатаційних витрат – найважливіший напрямок підвищення ефективності роботи залізниць.

Одним з ефективних шляхів економії енергоресурсів є впровадження енергетично оптимальних графіків рухів поїздів і оптимальних режимних карт на головних напрямках залізниць України.

У зв'язку із входженням залізниць України в Оптовий Ринок Електроенергії (ОРЕ) новим і актуальним завданням є перехід на вартісні показники ефективності режимів тяги поїздів за критерієм мінімуму вартості спожитої електроенергії при змінних по періодах доби тарифах. За оцінками Укрзалізниці економічний ефект від роботи залізниць України в рамках Оптового Ринку Електроенергії складе близько 50 млн. доларів на рік.

Складність завдання оптимального ведення поїзда в першу чергу визначається повнотою обліку сукупності факторів, які характеризують розрахункову ділянку, модель поїзда, різноманітні фактори й умови процесу руху поїзда по змінному профілю колії, оцінкою сил що виникають при цьому, ін. Залежно від цілей керування, повноти наявних даних для розрахунку оптимальних режимів тяги застосовуються різні методи, засновані на моделях безперервного, дискретного оптимального керування, а також змішаних – дискретно-безперервних. Урахування умов ОРЕ є новим і суттєвим фактором завдань управління режимами тяги поїздів.

Актуальність даної роботи витікає з положень „Комплексної державної програми енергозбереження України на 2005-2020 р.р.”, Закону України „Про енергозбереження” № 75/94-ВС від 01.07.1994 р., Указу президента України № 603/2000 від 20.04.2000 р. „Про стан залізничного транспорту України і заходи щодо забезпечення його ефективного функціонування”.

У зв'язку з зазначеним вище удосконалення режимів тяги вантажних поїздів за вартісними критеріями ефективності з урахуванням перемінних тарифів на електроенергію є актуальним науково-практичним завданням.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

Робота виконана відповідно до головних напрямків розвитку науки і техніки, «Стратегії розвитку залізничного транспорту на період до 2020 року» (схвалено розпорядженням Кабінету Міністрів України від 16 грудня 2009 р. № 1555-у). Обраний напрямок досліджень пов'язаний з виконанням науково-дослідних робіт у Дніпропетровському національному університеті залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна та Східному науковому центрі Транспортної академії України:

1. „Розробка і дослідні випробування пристрою для організації оптимального ведення поїзда машиністом” номер держреєстрації 0105U001796)

2. „Обладнання електровоза серії ВЛ8 пристроєм для навчання машиністів раціональним режимам ведення поїздів”, номер держреєстрації 0106U006498).

В цих роботах автор був виконавцем.

Мета і задачі дослідження. Метою дисертаційної роботи є зменшення вартості спожитої на тягу вантажних поїздів електроенергії за рахунок вибору раціональних режимів ведення поїздів в умовах змінних тарифів.

Для досягнення поставленої мети в роботі сформульовані та вирішені наступні завдання:

- аналіз сучасних математичних моделей та методів оптимізації режимів ведення вантажних поїздів;
- формування уточнених математичних моделей розрахунку раціональних режимів ведення поїздів з урахуванням змінних за періодами доби тарифів на спожиту електроенергію;
- розроблення математичних моделей, що враховують змінність тарифів на спожиту активну та реактивну електроенергію;
- створення моделей на базі нечітких множин для відтворення змінності та невизначеності факторів, що впливають на режими ведення поїздів;
- створення алгоритмів формування бази нечітких правил, на основі характеристик руху поїздів, визначених у реальних поїздках, що дозволяють обирати раціональні режими тяги засобами нечіткого управління;
- розробка комплексу алгоритмів та програмного забезпечення для розрахунку раціональних режимів ведення поїздів за вартісними показниками.

Об'єкт дослідження – процеси управління тягою поїздів на електрифікованих ділянках залізниць.

Предмет дослідження – режими ведення вантажних поїздів, раціональні за показником вартості спожитої на тягу електроенергії в умовах змінних тарифів.

Методи досліджень. Для вирішення поставлених завдань використані: моделі та методи оптимального управління тягою поїздів, методи динамічного та стохастичного програмування – при реалізації алгоритмів розрахунку раціональних режимних карт управління локомотивом, моделі і методи теорії нечітких множин та нечіткого управління, що використані для реалізації задачі відтворення фактичних режимів ведення з урахуванням факторів невизначеності; методи експертних систем, а також математичної статистики і порівняльного аналізу.

Інформаційною базою дослідження були: результати дослідних поїздок, сформовані під час виконання науково-дослідних робіт. Законодавчі, правові і нормативні акти України, наукові публікації і розробки.

Наукова новизна одержаних результатів полягає у розвитку та удосконаленні методик розрахунку раціональних режимів ведення вантажних поїздів, коли ураховуються вартісні показники спожитої на тягу електроенергії в умовах оптового ринку електроенергії, змінних тарифів, зокрема:

вперше:

– досліджені оптимальні за вартістю спожитої на тягу електроенергії режими ведення вантажних поїздів в умовах стохастичних тарифів властивих ОРЕ, встановлена їхня істотна відмінність від режимів, оптимальних за показником споживання електроенергії, а також встановлена необхідність розробки пакетів режимних карт ведення поїздів, що можуть бути використані на ділянці в різні періоди доби;

– розроблений адаптивний метод розрахунку раціональних режимів ведення поїздів, заснований на нечіткій продукційній моделі, що дозволяє використовувати результати дослідницьких поїздок для формування режимів тяги, і забезпечує достатню для практики точність керування рухом поїзда без завдання детального опису параметрів математичних моделей;

– побудована кусково-лінійна апроксимація тарифів на електроенергію ОРЕ, що містить чотири інтервали і дозволяє з необхідною для практики точністю розрахувати режими тяги поїздів оптимальні за вартістю спожитої електроенергії;

удосконалено:

– критерії оцінки ефективності змінних тарифів на електроенергію для заданих графіків руху поїздів, які враховують стохастичні властивості тарифів в умовах ОРЕ, а також різну вартість активної та реактивної енергії;

– на основі експериментальних даних отримано залежність коефіцієнту потужності від току, що дозволяє одержати уточнені режими тяги поїздів, враховуючу різну вартість реактивної й активної електроенергії;

набули подальшого розвитку:

– моделі розрахунку раціональних режимів ведення поїздів з урахуванням змінних тарифів на спожиту електроенергію, що також враховують різницю тарифу активної й реактивної енергії.

Практичне значення роботи визначається застосуванням отриманих результатів для удосконалення засобів автоматизації щодо розрахунків раціональних режимів тяги поїздів за вартісними показниками спожитої електричної енергії в умовах перемінних тарифів та ОРЕ. При цьому розроблений програмний комплекс забезпечує наступне:

- вирішує проблему розрахунку режимів тяги поїздів раціональних за вартістю спожитої електроенергії при змінних тарифах;

- розраховує компромісно-оптимальні режими тяги поїздів;

- автоматичне формування бази нечітких правил на основі фактичних поїздок, для формування нечіткої моделі, та видача рекомендації щодо зміни

управління поїздом під час руху за критеріями мінімуму електроспоживання та вартості електроенергії.

За результатами роботи отримано авторське свідоцтво на комп'ютерну програму «Апаратно-програмний комплекс для розрахунку раціональних режимів ведення вантажного поїзда електровозами». Результати дисертаційних досліджень впроваджені, а також випробувані у науково-дослідних роботах і використані в навчальному процесі університету.

Особистий внесок здобувача. Всі результати теоретичних і експериментальних досліджень, наведені в роботі, отримані автором особисто або безпосередньо з його участю.

У статтях, опублікованих у спеціалізованих виданнях зі співавторами [1-7], здобувачеві належить наступне:

- оптимізація режимів тяги поїздів при змінних тарифах на електроенергію [1, 2, 7];
- дослідження режимів ведення поїздів з урахуванням вартості активної й реактивної електроенергії [1, 7];
- керування рухом поїзда на основі нечіткого опису станів системи [5, 6];
- вибір режимів керування рухом поїзда на основі нечіткої продукційної моделі [3, 4, 5, 6].

Апробація результатів роботи. Основні положення і результати дисертації доповідалися, обговорювалися і були схвалені на:

- міжнародних наукових конференціях «Проблеми економіки транспорту» м. Дніпропетровськ у 2010, 2009, 2008, 2007, 2006, 2005, 2003, 2002 рр., "Комп'ютерне моделювання" (2007-2003 рр., г. Дніпродзержинськ),
- міжнародних науково-практичних конференціях «Сучасні інформаційні технології на транспорті, в промисловості та освіті» м. Дніпропетровськ 2012, 2011, 2010, 2009, 2008 рр.
- міжнародна науково-технічна конференція „Енергоефективність'2004” м. Одеса
- міжнародних науково-практичних конференціях «Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту» м. Дніпропетровськ 2008, 2006, 2005 рр.

- засіданні міжкафедрального наукового семінару кафедр «Автоматика, телемеханіка та зв'язок», «Електрорухомий склад залізниць», «Станції та вузли», «Управління експлуатаційною роботою», «Електронні обчислювальні машини», «Комп'ютерні інформаційні технології» Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна від 21 липня 2012 року.

Публікації. Основні результати дисертації опубліковані у 20 наукових працях, у тому числі 7 статей у фахових збірниках наукових праць (5 у співавторстві) та у 13 тезах доповідей наукових конференцій (у тому числі 7 у співавторстві).

Структура й обсяг роботи. Дисертація складається з вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Повний обсяг роботи складає 180 сторінок; обсяг основного тексту – 130 сторінок, у тому числі 14 таблиця, 53 рисунків. Крім того, вступ на 7 сторінках, висновки на 2 сторінках, список використаних джерел, який включає 102 найменування, та додатки на 35 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі подано загальну характеристику дисертаційної роботи, обґрунтовано вибір теми та актуальність, визначено мету, задачі, об'єкт, предмет, методи дослідження, охарактеризовано наукову новизну і практичне значення роботи, наведено дані щодо апробації одержаних результатів та їх публікацію.

У першому розділі наведено опис і розвиток методів енергетичної й вартісної оптимізації режимів ведення вантажних поїздів на електрифікованих ділянках. Представлені актуальні завдання керування тягою вантажних поїздів за критерієм мінімуму вартості електроенергії.

Проблематика вдосконалювання тягових розрахунків має велику історію. Різні аспекти розвитку теорії й методів тягових розрахунків залежать від повноти параметрів процесу, що враховуються, від профілю колії, обмежень швидкості, від способу урахування стохастичних і інших властивостей напруги електротягової мережі, а також інших факторів. Великий науковий і практичний внесок у розробку тягових розрахунків внесли: Айзінбуд К.С., Блохін Є.П., Боднар Б.Є., Босов А.А., Васильєв І.І., Воскресенський Б.Д., Гетьман Г.К., Євдомаха Г.В., Ерофеев Е.В., Костромин А.М., Лазарян В.А., Марквардт К.Г., Мірошніченко Р.И., Нікіфоров Б.Д., Навіков А.П., Палей Д.А., Петров Ю.П., Почаєвцєв Э.С., Плаксієв П.В., Пузанів Н.Я., Розенфельд В.Е., Савич Я.Е., Сидельников В.М., Скалозуб В.В., Тартаковский Э.Д. і інші вчені.

Завдання із розрахунку оптимальних режимів ведення поїздів, у тому числі за вартісними показниками, а також впровадження відповідних режимних карт руху обговорюється в значному числі робіт, зокрема Блохін Є.П., Євдомаха Г.В., Скалозуб В.В. Одним з основних при цьому є вибір показників ефективності й критеріїв, що дозволяють визначити раціональні режими водіння поїздів при електричній тязі. У роботах з оптимальних тягових розрахунків запропонований набір показників ефективності, що враховують споживання енергії на тягу поїзда, також в них може уводитися ізопараметричне обмеження за часом руху по ділянці. У зв'язку з переходом Укрзалізниці на роботу ОРЕ у дисертації використовуються критерії мінімуму споживання електроенергії та вартості електроенергії. Застосування вартісних показників приводить до необхідності урахування нових компонентів задач оптимального водіння поїздів.

Значна різниця тарифу на електроенергію у різні періоди доби (до 5-7 разів у пікові й нічні години), необхідність коректування режимів ведення поїздів

да в різні періоди доби, потреба у розробці пакету режимних карт, обліку вартості активної й реактивної енергії й ін., роблять актуальними такі аспекти, як вимога більш точного розрахунку витрат енергії на тягу поїздів у різні періоди доби, поділяючи енергію на активну й реактивну.

У роботі застосована одна з найбільш повних моделей рівнянь руху поїзда, яка враховує параметри довжини поїзда, зміни температури тягового двигуна й інші фактори. Модель поїзда виявилася достатньою для формування оптимальних режимів ведення вантажних поїздів за критерієм мінімуму вартості спожитої на тягу електроенергії.

Поїзд представлено як гнучку нитку довжини L_n з погонною масою $p_n(z)$, $0 \leq z \leq L_n$, динаміка якого описується системою диференціальних рівнянь (1) при початкових умовах (2)

$$\frac{d(v^2)}{dx} = \frac{2\zeta}{(q+Q)(1+\gamma)} [F_e(x_e) - W(x_w) - B_T(x_B)]; \quad (1)$$

$$\frac{d\tau}{dx} = \frac{\tau_*(I_D(v(u(x,t), U_C(x,t, \theta))) - \tau(x,t))}{v(x,t)T_D(I_D(v(u(x,t), U_C(x,t, \theta))))}; \quad (2)$$

$$x(0) = x_0; \quad v(0) = v_0; \quad \tau(0) = \tau_0,$$

де:

- x, t – координати шляху й часу; - $u(x, t)$ – керування (номер позиції контролера); - v – швидкість руху; - q, Q – маси локомотива й поїзда; - F_e – сила тяги локомотива; - $U_C(*)$ – напруга контактної мережі; - $W(*)$ – опір поступальному руху поїзда; - B_T гальмівна сила, що діє на поїзд; - γ – коефіцієнт інерції обертових мас; - $\zeta = g/1000, g$ – прискорення сили ваги; - τ – температура нагріву тягових електродвигунів;

- $\tau_* = \tau\infty, T_D, I_D$ – теплові характеристики й струми тягового електродвигуна; - $x_e = (v, u, U_C)$; $x_w = (x, v, u)$; $x_B = (v, k'(t), u, U_C)$, - $k'(t)$ – сумарна сила натискання гальмових колодок; - θ – випадкові й невизначені фактори завдання.

У рівняннях (1) – (2) часова координата t уведена додатково для забезпечення можливості вибору керувань залежно від періоду доби, що відповідає умовам застосування диференційованих тарифів (ДТ) і ОПЕ. Також у моделі руху враховується випадковий характер змінної напруги на струмоприймачі, що має місце при русі електровоза $U_C(*)$. Опір поступальному руху поїзда враховує ухил подовжнього профілю колії, опір від кривих у плані шляху.

У якості обмежень (1)-(2) ураховуються наступні вимоги: x_n, x_k – відповідно початкова й кінцева координати шляху; $\tau_{\text{доп}}$ – максимально припустима температура перегріву двигуна (ТЕД); $v^{\text{max}}(x)$ – максимально припустима швидкість руху поїзда. Крім того ураховуються обмеження, що накладаються на керування u x відповідно до правил технічної експлуатації, а саме: $I_{\text{д}}^{\text{max}}$ – максимально припустимий струм ТЕД; q_0 – навантаження на вісь екіпажа; ψ_k – коефіцієнт зчеплення колеса з рейкою; K'' – сила натискання гальмових колодок колісної пари; φ_k – коефіцієнт тертя гальмової колодки об колоесо.

Відмінність моделі розрахунку режимних карт для вантажних поїздів полягає у заміні ізопараметричного обмеження часу ходу поїзда по ділянці інтервальним, яке має наступний вигляд:

$$t_x[u] = \int_{x_n}^{x_k} \frac{dx}{v(x, u)} \in t_3, \quad (3)$$

де t_3 – заданий інтервал припустимого часу руху поїзда на ділянці.

Задача вибору оптимального режиму ведення поїзда полягає у наступному: потрібно розрахувати такий закон керування $u^*(x) \in \tilde{U}$, щоб відповідне йому рішення системи рівнянь (1)-(2) належало встановленій області, цільовий функціонал оптимальності приймав мінімальне значення, а початкова й кінцева точки траєкторії руху поїзда належали відповідно множині початкових x_0, v_0, τ_0 і кінцевих значень (x_k, v_k, τ_k) .

У дисертації змінна напруга на струмоприймачі електровоза оцінюється відповідно до робіт Почаєвця Е.С. та Савича Я.Ю., коли ураховуються падіння напруг від супутнього потоку поїзда, а також від власного струму електровоза $I_{\text{в}}(x)$. Для обчислення цільового функціоналу використовується вираз, в якому окремо враховано різницю вартості активної та реактивної електроенергії, представлений у розділі три.

В другому розділі виконано дослідження режимів тяги вантажних поїздів при змінних тарифах на електроенергію за наступною методикою. Для оцінки ефективності оптимальних режимів ведення поїздів формувався пакет дослідних поїздок. Зв'язок режиму ведення поїзда і споживання енергоресурсів був обумовлений залежністю корисної механічної роботи від режиму ведення поїзда й залежністю к.к.д. локомотива від режиму його роботи, що задається контролером машиніста, й швидкістю руху. Економічність режиму

ведення поїзда на ділянці оцінюється питомими витратами енергоресурсів, віднесеним на 100 ткм. бруто виконаної перевізної роботи. Проведення дослідних поїздок ґрунтувалося на категорії критичної вагової норми (КВВ) вантажного поїзда. КВВ встановлювалося для конкретної ділянки й періоду експлуатації за умовами зчеплення коліс із рейками й нагріву тягових електричних машин, відповідно до «Правила тягових розрахунків для поїзної роботи» (ПТР).

Дослідні поїздки проводилися на ділянці обігу локомотива з перевіркою критичної ваги поїзда по кожній ділянці роботи локомотивних бригад. Кількість дослідних поїздок установлювалася так, щоб одним локомотивом із задовільними результатами для поїзда критичної ваги було підряд проведене не менше трьох поїздок. Вони проводилися в період, коли на даній ділянці найбільш часто спостерігалися несприятливі умови для реалізації зчеплення коліс із рейками (дощ; сніг; мороз; туман і т.п.), характерні для даної ділянки дороги. Поїздки проводилися з поїздами, вантаженими, вугіллям, металом, рудою, нафтопродуктами й т.п., що визначають норму, а також зі спеціальними поїздами, навантаженими щелебневим баластом, що пройшов по вагонне зважування, а також зі звичайними навантаженими поїздами, що мають необхідні середні осьові навантаження для поїздів на даній ділянці.

Витрати електроенергії на рух поїздів по ділянці визначалися на основі відповідних залежностей струму й часу ходу від шляху по перегонах, підсумовуючи витрату електроенергії по окремих елементах часу згідно ПТР

Дослідження режимів ведення поїздів з урахуванням ОРЕ й диференційованих тарифів. У зв'язку з 24 різними значеннями ціни електроенергії в ОРЕ створювати й реалізовувати пакет режимних карт, відповідних усім періодам доби, не представляється можливим. У роботі побудовано апроксимацію ціни в ОРЕ, що має менше число різних зонних коефіцієнтів, які використано при розробках пакета режимних карт. Проведено розрахунки режимів тяги із щогодинним відправленням поїзда при оптимізації значення функції вартості електроенергії. У таблиці 1 наведені розподіли значень коефіцієнтів вартості по годинах доби для двох тарифів: ДТ, тарифи ОРЕ та їх апроксимація ОРЕ₄.

Використання погодинного тарифу при ОРЕ на практиці потребує розрахунку оптимальних режимних карт управління тягою поїзда для кожної години доби окремо. Для спрощення процедур розрахунку побудовано та досліджено апроксимації тарифу ОРЕ за допомогою трьох або чотирьох зонного тарифу. Ці тарифи визначаються коефіцієнтами, усередненими за відповідні періоди доби. На рис.1 наведено діаграму з ціною тарифів, отриманих за допомогою апроксимації до трьох і чотирьох зон, ґрунтуючись на базовому тарифі для ОРЕ.

Таблиця 1

Розподіл коефіцієнта ціни для різних тарифів оплати електроенергії

Період доби, год.	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
Диференційований тариф	0,25 (ніч)	0,25	0,25	0,25	0,25	1,02 (напів-пік)	1,02	1,02	1,8 (пік)	1,8	1,8	1,02 (напів-пік)	1,02	1,02	1,02	1,02	1,02	1,8 (пік)	1,8	1,8	1,02 (напів-пік)	1,02	1,02	0,25 (ніч)
ОРЕ	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,71	1,16	1,18	1,34	1,36	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,23	1,28	1,55	1,57	1,53	1,44	1,15	0,7
ОРЕ ₄	0,759	0,759	0,759	0,759	0,759	0,759	1,200	1,200	1,350	1,350	1,200	1,200	1,200	1,200	1,200	1,200	1,200	1,200	1,523	1,523	1,523	1,200	1,200	1,200

Порівняльний аналіз режимів, оптимальних за вартістю для умов ОРЕ, ДТ і апроксимації ОРЕ з використанням 4-рьох зон, дозволяє зробити наступні висновки: пропонується чотиризонна модель апроксимації з достатньою точністю надає можливість заміни умов ОРЕ (табл. 2).

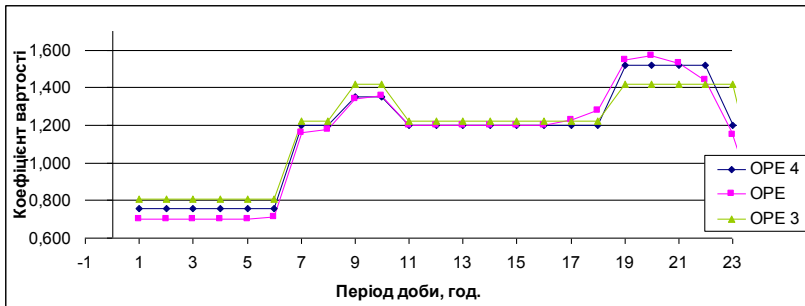


Рисунок 1. Порівняльна діаграма тарифу ОРЕ та його апроксимацій

Відповідно до концепції функціонування й розвитку ОРЕ України, затвердженої Кабінетом Міністрів України від 16 листопада 2002 року, актуальними є завдання вибору режимів тяги поїздів з урахуванням змінної вартості електроенергії, що передбачає прогнозування потреб електроенергії по періодах доби в рамках змінних тарифів. Представимо деякі результати досліджень змінної ціни електроенергії $C(x, t)$, отримані по даним потреб Південно-Західної залізниці. Вони дозволяють обґрунтовано вибрати параметри

моделей з розрахунку оптимальних режимів руху поїздів, що забезпечують мінімум вартості електроенергії.

Таблиця 2

Відношення витрат на оплату електроенергії до основного тарифу ОРЕ,
для різних типів вантажних поїздів

Відношення тарифів	Поїзд 1 2000 т.	Поїзд 2 3000 т.	Поїзд 3 4000 т.	Поїзд 4 5000 т.	Середній відсоток
ОРЕ/ ДТ	10,5%	9,3%	10,4%	13,4%	11,5%
ОРЕ/ ОРЕ₄	-2,3%	-2,1%	-2,0%	-2,2%	-2,1%
ОРЕ/ ОРЕ₃	-3,5%	-3,2%	-3,5%	-3,5%	-3,5%

Як показали дослідження ціна електроенергії в ОРЕ є нестационарним випадковим процесом, а для відображення цієї властивості в моделях з розрахунку оптимальних режимів ведення поїзда необхідно задавати характеристики (4) – змінне по періодах доби математичне очікування ціни електроенергії в рамках ОРЕ. Розрахунки з використанням критерію Колмогорова – Смирнова на рівні значимості 5 % показали можливість вважати, що в кожному перерізі випадковий процес “*формована в рамках ОРЕ ціна електроенергії*” є нормально-розподіленою випадковою величиною. Отриманий результат дозволяє представити модель ціни $C(x, t)$ для використання при розрахунках режимів ведення поїзда в умовах функціонування ОРЕ в наступному виді:

$$C(x, t) = \{ (N(M[c(x_k, t_1)], \sigma(x_k, t_1)), \dots, N(M[c(x_k, t_{24})], \sigma(x_k, t_{24}))) \}_{k \in N_k}, \quad (4)$$

де $N(a, \sigma)$ – функція Гауса, а N_k – кількість регіонів, через які проходить поїзд за графіком руху.

Урахування впливу вадивний і реактивної потужності на вартісно-оптимальні режими ведення вантажних поїздів. У роботі проблема компенсації реактивної потужності в системах електропостачання вирішується на основі «Методики розрахунків плати за перетікання реактивної потужності між електропостачальною організацією і її споживачами» (Міністерство палива й енергетики, наказ N 19 від 17.01.2002). При цьому плата за споживання й генерацію реактивної електроенергії, на підставі методики, визначається як:

$$P = P1 + P2 - P3, \quad (5)$$

де $P1$ – основна плата за споживання й генерацію реактивної електроенергії; $P2$ – надбавка (при $tg\phi > 0,25$) за недостатню оснащеність електричної мережі споживача пристроями КРМ; $P3$ – знижка плати при участі в оптимальному добовому регулюванні режимів мережі енергопостачальної організації в розрахунковий період.

Витрати електроенергії можуть зростати при зменшенні її вартості, що компенсується різним споживанням реактивної й активної потужності в пері-

одах з різним коефіцієнтом ціни. У таблиці 3 подано зведену інформацію із споживання електроенергії для різних тарифів з урахуванням впливу плати за споживання й генерацію реактивної електроенергії., а на рис.2 відповідні закони управління

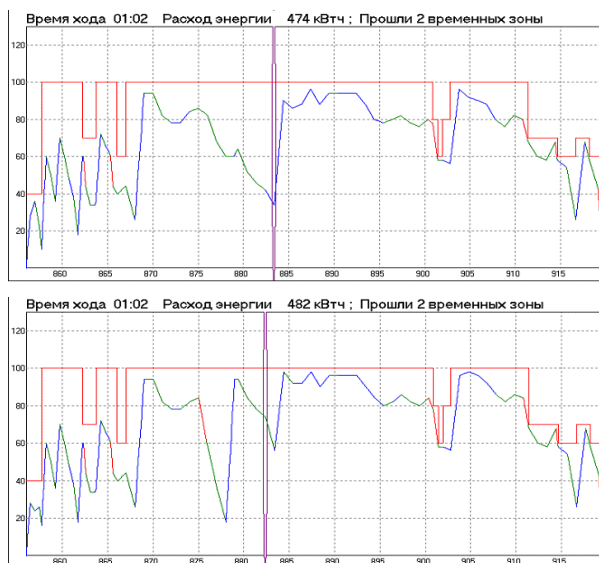


Рисунок 2. Приклад управління поїздом при тарифах OPE та при тарифі OPE з урахування реактивної складової

Таблиця 3
Вартість електроенергії поїздів різних мас із урахуванням впливу реактивної енергії

Маса поїзда	Вартість електроенергії		
	Одноставочний тариф	Тариф OPE	Тариф OPE з урахуванням впливу реактивної енергії
960 т.	311	374	381
1840 т.	554	635	673
4000 т.	701		

Урахування складових енергії різної вартості є суттєвим при розрахунках ефективних режимів тяги вантажних поїздів.

Розділ три містить розробки вдосконалених моделей і методів розрахунку режимів тяги за критерієм мінімуму вартості спожитої електроенергії. У роботі був запропонований і досліджений удосконалений критерій оцінки ефективності руху поїздів, що враховує активну й реактивну складову електричної енергії, за умов змінних тарифів на електроенергію в різні періоди

доби. Уточнений критерій оцінки закону керування на ділянці $u(x)$ являє собою функціонал з урахуванням вартості електроенергії (функція $c(t)$ – визначає ціновий коефіцієнт залежно від часу t) при споживанні активної й реактивної енергії:

$$A[u] = \int_{x_n}^{x_k} \frac{U_c I_{da}(v, u) \cdot \{\cos \varphi(I_{da}(*)) + D \cdot \sin \varphi(I_{da}(*))\} \cdot c(t) dx}{v(x, u)} + P2, \quad (6)$$

де, D - коефіцієнт ЕЕРП, що характеризує частина впливу реактивного перетікання в точці обліку на техніко-економічні показники у розрахунковому режимі, квт/квар. $P1, P2$ - відповідають рівнянням (5).

$$P2 = P1 \cdot C_{\text{баз}} \cdot (K_{\phi} - 1), \quad (7)$$

$C_{\text{баз}} = 1$ нормативне базове значення коефіцієнта стимулювання капітальних вкладень у засоби компенсації в мережах споживача, K_{ϕ} – коефіцієнт, що розраховується залежно від фактичного значення коефіцієнта $tg\varphi$ споживача в середньому за звітний період; для тягових підстанцій залізничного транспорту змінного струму $= 1,0$, а для постійного струму $= 0,5$.

Моделювання режимів ведення поїздів у роботі виконувалося для побудови залежностей характеристики $\cos \phi$. Для цього були використані дані дослідних поїздок на локомотиві ВЛ-80т, рис. 3.

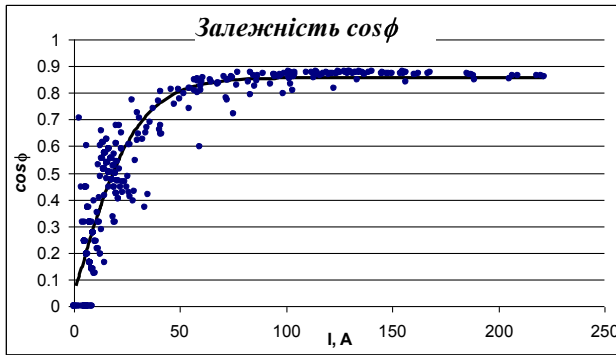


Рисунок 3. Апроксимація функції $\cos \phi(I_{da})$

Обмірювані залежності значення $\cos \phi(I_{da})$ від повного струму локомотива апроксимовані кривою виду:

$$f(x) = \frac{A}{B - e^{-Cx}} \quad (8)$$

На рис.3 представлено результати обмірювальних випробувань і відповідна апроксимуюча залежність (8).

У ході досліджень була показана істотна відмінність режимів ведення поїзда, оптимальних за вартісними показниками, від режимних карт, оптимальних за критерієм мінімуму спожитої електроенергії при урахуванні оплати за використання реактивної потужності, що підтвердило суттєвість запропонованих моделей ефективності (6)-(7), рис.2.

Удосконалення критерію ефективності застосування змінних тарифів з урахуванням активної та реактивної складової електроенергії. При роботі залізниць України в умовах ОРЕ завдання із розрахунку оптимальних режимів ведення поїздів повинні вирішуватися у взаємозв'язку із завданнями щодо оцінки ефективності застосування змінних тарифів на електроенергію.

У роботі отримано подальше удосконалення і уточнення критеріїв вартісної ефективності змінних тарифів за рахунок обліку споживання активної і реактивної електроенергії, які мають різну ціну. Це узагальнення припускає використання залежностей для $\cos(\varphi)$, див. рис.3. Уточнені критерії для умов застосування диференційованих тарифів мають вид

$$M_{(c,\alpha)}[\tilde{c}, \tilde{\alpha}] = \sum_i \{ (\mathfrak{E}_i^a \mathfrak{E}_i^a + \tilde{a}_i^r \mathfrak{E}_i^r) + M[\Delta \alpha_{ik}^a p_{ik}] * \mathfrak{E}_i^a + M[\Delta \mathfrak{E}_{ik}^r p_{ik}] * \mathfrak{E}_i^r \} < c_0 \quad (9)$$

а для умов оптового ринку, наступний:

$$M_{(c,\alpha)}[\tilde{c}, \tilde{\alpha}] = \sum_i \{ (\mathfrak{E}_i^a \mathfrak{E}_i^a + \tilde{a}_i^r \mathfrak{E}_i^r) + M[\Delta \alpha_{ik}^a p_{ik}] * \mathfrak{E}_i^a + M[\Delta \mathfrak{E}_{ik}^r p_{ik}] * \mathfrak{E}_i^r + M_{a,r} \} < c_0^\delta \quad (10)$$

де $M_{a,r} = M[\Delta c_{iq}^a p_{iq}] \mathfrak{E}_i^a + M[\Delta c_{iq}^r p_{iq}] \mathfrak{E}_i^r$.

У (10) позначення величин такі:

- $J_A = \{j_1, j_2, \dots, j_m\}$ часові зони змінного тарифу,
- структури розподілу потреб електроенергії на тягу в різних часових зонах $A_j^* = [A_{i,j}^*]_p$, $\forall j \in J_A$, у яких тариф становить - c_i , величини:

$$A_i^s = \sum_{j \in J_A} A_{i,j}^s, \quad i = 1, 2, 3; \quad A_S = \sum_i A_i^s. \quad C_S = \sum c_i * A_i^s \leq c_0 * A_S,$$

$$\alpha_i = A_i^s / A_S, \quad \sum \alpha_i = 1,$$

$\tilde{\alpha}^a, \tilde{\alpha}^r, \mathfrak{E}_i^a, \mathfrak{E}_i^r, \Delta \alpha_{ik}^a, \Delta \alpha_{ik}^r$ - випадкова величина відносного споживання активної й реактивної електроенергії, відповідно,

$\tilde{c}^a, \tilde{c}^r, \mathfrak{E}_q^a, \mathfrak{E}_q^r, \Delta c_{iq}^a, \Delta c_{iq}^r$ - випадкова величина ціни, середнє й відхилення від середніх в i -ій годинній тарифній зоні для активної й реактивної електроенергії, відповідно.

Управління тягою вантажних поїздів в умовах ОРЕ для поїздопотоку. Розроблені раніше моделі керування тягою застосовувалися для ведення одного поїзда. У дисертації вперше досліджено завдання із

управління потоком поїздів в умовах змінних тарифів на електроенергію. На рис.4 наведено приклади розрахунку режимів тяги і часу ходу вантажних поїздів, що відправляються із проміжком 10 хв. Їх аналіз дозволив встановити неістотність впливу змін режиму керування на час ходу поїзда по перегонах. При регулюванні тягою поїздів з урахуванням перемінних тарифів нагін одного поїзда іншим не перевищував припустимий норматив інтервалів часу.

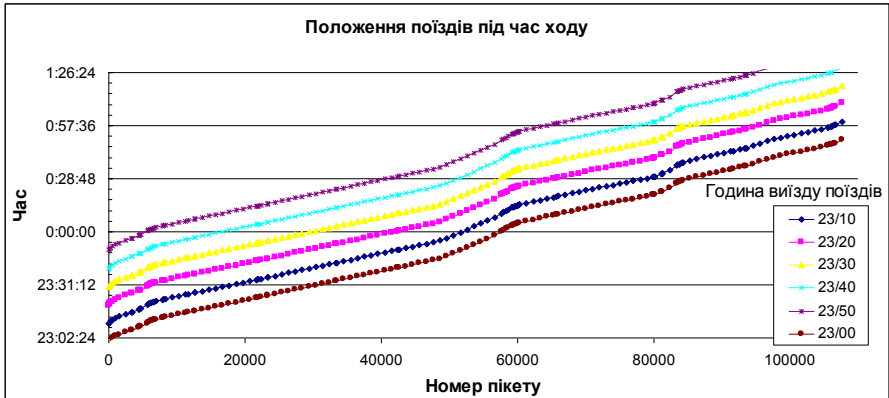


Рисунок 4. Схема розташування поїздів у русі; відправлення з проміжком часу 10 хв.

Дослідженнями встановлено, що використання режимів тяги, враховуючих особливості ОРЕ для послідовності поїздів, є прийнятним - забезпечується нормативно припустимий інтервал між поїздами. У загальному випадку керування тягою поїздів в умовах поїздопотоку вимагає коректування моделі тяги, а саме – введення додаткового обмеження на координату поїзда на перегоні.

Розробка нечіткої системи керування тягою поїзда на основі використання даних дослідних поїздок. У дисертації сформульовано і вирішено завдання із вибору раціонального режиму тяги локомотива на основі побудови за даними дослідних поїздок бази нечітких правил і формування нечіткого управління. Правила керування враховують відхилення фактичних станів рухомої системи від еталонного випадку (еталонний режим). Еталонними є дані про фактичні поїздки або ж розрахунки за моделями. Для формування дослідних поїздок використовувалися розрахунки режимів тяги поїздів з різними масами, різною напругою на струмоприймачі, при різних обмеженнях швидкості тощо. Для формуванні правил встановлені такі параметри:

Δt_i – різниця за часом руху на ділянці « i », для характеристики якого уведені значення нечітких величин Tp , Δv_i – відхилення швидкості для ділянки « i », величина Vp , Δm – різниця маси поїзда дослідної траєкторії й поїзда з еталонної поїздки, величина Mp . S_i – ділянка шляху, або номера пікетів, величина Sp , де $i = 0, 1.. n$ – це кількість точок дослідної траєкторії для одного перегону.

Нечіткі правила мають наступний узагальнений вигляд:

$$\text{ЯКЩО } si \in Sp \text{ ТА } \Delta m \in Mp \text{ ТА } \Delta ti \in Tp \text{ ТА } \Delta vi \in Vp \text{ ТОДІ } \Delta Ui, \quad (11)$$

де ΔU_i – кількість позицій контролера, щодо поточного положення, які забезпечують керування, близьке до оптимального на деякій i -тій ділянці шляху. При побудові моделі керування кожна нечітка характеристика апроксимується N нечіткими величинами із трикутними функціями належності (термами). Для нечіткої характеристики задані мінімальне й максимальне значення інтервалів, у яких перебувають її припустимі значення. Апроксимуючі величини мали трикутний вигляд. Нечіткий вивід ґрунтується на правилі нечіткої імплікації Мамдані.

Проблема суперечності правил з однаковими посилками та різними висновками вирішується шляхом приписування їм ступеня істинності, що обчислюється як добуток ступеня належностей всіх величин, які складають правило. Сформована база правил має вигляд таблиці, з стовпцем послань, висновків та оцінок істинності.

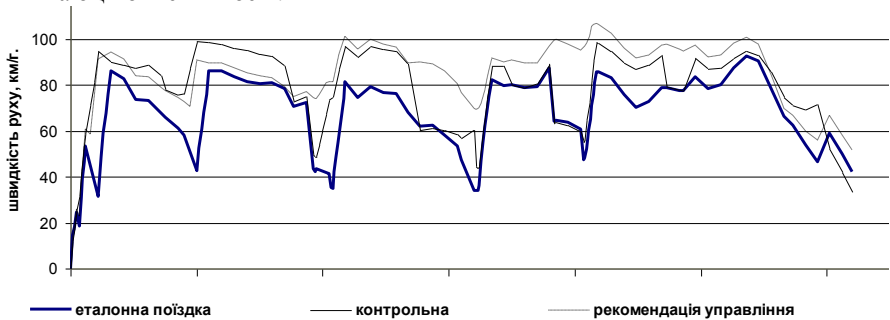


Рисунок 5. Порівняння швидкості руху поїзда

Використання бази нечітких правил полягає у визначенні відображення вхідних посилок $f(si, \Delta m, \Delta ti, \Delta vi) \Rightarrow \Delta Ui$, де значення ΔUi – визначається методом дефазифікації за правилом середнього центру.

На рис.5 показано процес адаптації системи нечіткого управління до еталону – контрольної поїздки. Пунктирна лінія представляє управління, яке рекомендується, його потрібно задати машиністові локомотива, щоб рух поїзда наблизився до показників еталонного керування. В якості контрольної (рис.5) наведена поїздка із запізненням, тому підвищення швидкості наближає її до оптимального керування. Графік показує, що рекомендоване системою керування, прагне збільшити номер позиції контролера, а разом з ним і швидкість, щоб прискорити рух. Розрахунки режимів тяги поїздів в умовах ОРЕ показали, що запропонована модель (11) дозволяє отримувати управління з достатньою для практики точністю.

У четвертому розділі наведений опис завдань та процедур управління режимами тяги, а також автоматизованої системи розрахунків оптимальних за вартістю електроенергії режимних карт для керування тягою поїздів в умовах змінних тарифів. Для функціонування програми необхідно: Microsoft Windows'95 (або більше пізні версії) драйвера BDE (Borland Database Engine). Мова програмування: C++, інтегроване середовище C++Builder. Розроблена програма дозволяє вести бази даних поїздок, характеристик локомотивів, ділянок руху та інше. Виконується складання режимних карт керування поїздом на ділянці, з точки зору критеріїв мінімум споживання електроенергії (при урахуванні змінності напруги на струмоприймачі), а також вартості спожитої на тягу електроенергії при змінних тарифах.

ВИСНОВКИ

У дисертації отримано нове вирішення важливого для сучасного залізничного транспорту України завдання щодо удосконалення режимів тяги вантажних поїздів з урахуванням вартості спожитої активної і реактивної електроенергії в умовах змінних тарифів та оптового ринку електроенергії. На основі виконаних у дисертації досліджень і розробок, а також отриманих результатів, можна констатувати наступне.

1. Встановлена істотна відмінність режимів тяги вантажних поїздів, оптимальних за критеріями мінімуму споживання та вартості електроенергії в умовах перемінних тарифів та ОРЕ, а також необхідність розробки пакетів режимних карт ведення поїздів, що можуть бути використані на електрифікованих ділянках в різні періоди доби.

2. Встановлено, що запропонована у роботі кусково-лінійна апроксимація тарифів на електроенергію ОРЕ із чотирьох інтервалів, дозволяє з необхідною для практики точністю розрахувати режими тяги поїздів оптимальні за вартістю спожитої електроенергії, а також з урахуванням різниці у тарифах активної й реактивної її складових.

3. На основі аналізу експериментальних даних отримано математичний опис коефіцієнта потужності, що дозволяє одержати уточнені режими тяги поїздів, враховуючу різну вартість реактивної й активної електроенергії.

4. Отримано подальший розвиток математичних моделей для розрахунку режимів управління тягою вантажних поїздів в умовах перемінних тарифів на електричну енергію, які являються оптимальними за вартістю спожитої у різні періоди доби активної й реактивної енергії.

5. Отримано розвиток критеріїв вартісної ефективності перевезення тягових підстанцій залізниць на умови оплати по змінних тарифах, які враховують активну і реактивну складову споживання електроенергії та їх різну питому вартість. Критерії дають змогу визначити ефективність змінних тарифів на електроенергію для заданих графіків руху поїздів, а також враховують стохастичні властивості тарифів в умовах ОРЕ.

6. На основі даних дослідних поїздок розроблений адаптивний метод розрахунку раціональних режимів ведення вантажних поїздів, заснований на нечіткій моделі управління, який забезпечує достатню для практики точність керування рухом поїзда, використовуючи набори еталонних режимів тяги.

7. Встановлено, що при раціональному за вартісними показниками управлінні потоком поїздів в умовах перемінних тарифів на електроенергію та ОРЕ забезпечується нормативно припустимий інтервал між поїздами.

8. Удосконалено засоби автоматизації із розрахунків раціональних режимів тяги вантажних поїздів за вартісними та показниками споживання активної і реактивної електричної енергії в умовах перемінних тарифів та ОРЕ. Програмний комплекс вирішує завдання розрахунку режимів тяги поїздів, формування адаптивної нечіткої моделі управління тягою поїздів, надає рекомендації щодо зміни управління поїздом під час руху ін.

9. Результатами роботи використані при розробці та впровадженні апаратно-програмного комплексу для розрахунку раціональних режимів ведення вантажного поїзда електровозами.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Статті в наукових фахових виданнях

1. Иванов, А.П. Исследование режимов ведения поездов с учетом стоимостей активной и реактивной электроэнергии [Текст] / А.П. Иванов // Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, Вип. 21. - 2008. С. 239 – 242.

2. Иванов, А.П. Развитие и автоматизация методов расчета оптимальных по стоимости потребленной электроэнергии режимов управления тягой грузовых поездов [Текст] / А.П. Иванов // Збірник наукових праць. Донецький інститут залізничного транспорту Української державної академії залізничного транспорту. Випуск 31. – Донецьк, 2012. С. 41 – 46. ISSN 1993-5579.

3. Иванов, А.П. Выбор режимов управления движением поезда на основе нечеткой производственной модели [Текст] / А.П. Иванов, В.В. Скалозуб // Вестник Белорусского государственного университета транспорта, Беларусь, Наука и транспорт, 1-2, - 2007.

4. Скалозуб, В.В. Оптимизация режимов ведения поездов на основе непрерывного динамического программирования [Текст] / В.В. Скалозуб, К.И. Железнов, А.П. Иванов // Математичне моделювання. Дніпродзержинськ: ДДТУ, N2, 2002, – С. 32 – 36.

5. Скалозуб, В.В. Модели управления движением поездов на основе данных опытных поездов [Текст] / В.В. Скалозуб, А.П. Иванов // Локомотив информ, май 2007, г. Харьков: «Техностандарт». с.33-35.

6. Скалозуб, В.В. Управление движением поезда на основе нечеткого описания состояний системы [Текст] / В.В. Скалозуб, А.П. Иванов // «Системні технології» № 3(50). - 2007.

7. Скалозуб, В.В. Оптимизация режимов ведения поездов по критерию минимума стоимости потребленной и реактивной электроэнергии [Текст] / В.В. Скалозуб, В.Г. Кузнецов, Д.А. Босый, А.П. Иванов // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті, 4 (78), 2008. С. 111 – 115.

У тезах доповідей наукових конференцій:

8. Иванов, А.П. Анализ оптимальных по стоимости режимов тяги грузовых поездов в условиях переменных тарифов на электроэнергию [Текст] / А.П. Иванов // 65 Міжнародна науково-практична конференція „Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту” ДПТ, 2005.

9. Евдوماха, Г.В. Оптимизация режимов тяги поездов при переменных тарифах на электроэнергию [Текст] / Г.В. Евдوماха, В.В. Скалозуб, А.П. Иванов // XI Міжнародна конференція «Проблеми механіки залізничного транспорту», ДПТ 2004.

10. Иванов, А.П. Моделирование оптимальных режимов движения поездов по данным опытных поездок [Текст] / А.П. Иванов // Проблеми математичного моделювання. Міждержавна науково-методична конференція. Тези доповідей. Дніпродзержинськ: ДДТУ, 2007.

11. Иванов, А.П. Режимы тяги поездов на основе нечеткой модели управления движением [Текст] / А.П. Иванов // «Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту України» м. Дніпропетровськ, ДПТ 2006.

12. Иванов, А.П. Стоимостная оптимизация режимов ведения поездов с учетом рекуперации и переменных тарифов на электроэнергию [Текст] / А.П. Иванов // V міжнародна конференція «Проблеми економіки транспорту» м. Дніпропетровськ 2006.

13. Иванов, А.П. Усовершенствование методов нечеткого управления тягой поездов с учетом оптового рынка электроэнергии [Текст] / А.П. Иванов // Международная научно-практическая конференция „Современные информационные технологии на транспорте, в промышленности и образовании”, Днепропетровск, 2008.

14. Иванов, А.П. Автоматизация формирования нечеткой модели управления движением поезда по опытным данным [Текст] / А.П. Иванов // Міжнародна науково-практична конференція «Сучасні інформаційні технології на транспорті, в промисловості та освіти», ДНУЗТ 2011 р.

15. Скалозуб, В.В. Моделирование оптимальных режимов движения поездов по данным опытных поездок [Текст] / В.В. Скалозуб, А.П. Иванов // Проблеми математичного моделювання. Міждержавна науково-методична конференція. Тези доповідей. Дніпродзержинськ: ДДТУ, 2007.

16. Скалозуб, В.В. Моделирование процессов ведения поездов по критерию минимума стоимости электрической энергии [Текст] / В.В. Скалозуб, А.П. Иванов // Проблеми математичного моделювання. Тез. доп. Міжнародної науково-методичної конф. Дніпродзержинськ, 2003. С. 141.

17. Скалозуб, В.В. Разработка энергооптимальных и ресурсоэкономных режимных карт ведения поездов [Текст] / В.В. Скалозуб, А.П. Иванов, К.И. Железнов, В.В. Жижко // Міжнародна науково-технічна конференція „Енергоефективність '2004” м. Одеса.

18. Кузнецов, В.Г. Стоимостная оптимизация режимов ведения грузовых поездов с учетом затрат активной и реактивной электроэнергии [Текст] / В.Г. Кузнецов, А.П. Иванов // VI міжнародна конференція «Проблеми економіки транспорту» м. Дніпропетровськ 2007 с.176.

19. Боднар, Б.Е. Программный комплекс по расчету энергооптимальных режимов ведения поездов [Текст] / Б.Е. Боднар, Д.В. Бобыр, В.М. Ляшук, А.П. Иванов // Материали междунар. научн.-практ. конф. «Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту України» м. Дніпропетровськ 2006. с.48

20. Моделирование режимів ведення пасажирських і вантажних поїздів, оптимальних по вартості електроенергії [Текст] / С.В. Мямлін, К.І. Железнов, В.В. Скалозуб, О.П. Иванов, В.В. Жижко // Тези доп. І науково-практичної конф. “Проблеми та перспективи розвитку транспортних систем: техніка, техно-логія, економіка і управління”. – Ч1. – Київ КУЕТТ, 2004, С. 185 – 187.

АНОТАЦІЯ

Іванов О.П. Удосконалення режимів тяги поїздів за вартісними показниками при змінних тарифах на електроенергію. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.22.07 – рухомий склад залізниць і тяга поїздів. Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, Міністерство освіти і науки, молоді та спорту України, Дніпропетровськ, 2013.

У дисертації отримано нове вирішення комплексного завдання щодо удосконалення режимів тяги вантажних поїздів з урахуванням вартості спожитої активної і реактивної електроенергії в умовах змінних тарифів та оптового ринку електроенергії. Запропоновано кусково-лінійну апроксимацію тарифів на електроенергію ОПЕ, що складається із чотирьох інтервалів та дозволяє з необхідною для практики точністю розрахувати вартісно-оптимальні режими тяги поїздів.

На основі аналізу експериментальних даних отримано математичний опис коефіцієнта потужності, що дозволяє одержати уточнені режими тяги поїздів. Розроблено адаптивний метод розрахунку раціональних режимів ведення поїздів, заснований на нечіткій моделі управління, що дозволяє використовувати результати дослідницьких поїздок для формування, із достатньою для практики точністю, режимів тяги. Удосконалено засоби автоматизації розрахунків раціональних за вартісними показниками режимів тяги вантажних поїздів.

Ключові слова: режими тяги, вантажні поїзди, перемінні тарифи, оптовий

ринок електричної енергії, критерії мінімуму споживання і вартості електроенергії, нечітке адаптивне управління, активна і реактивна енергія.

АННОТАЦІЯ

Иванов А.П. Совершенствование режимов тяги поездов по стоимостным показателями при переменных тарифах на электроэнергию. - Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.22.07 - подвижной состав железных дорог и тяга поездов. Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна Министерства образования и науки молодежи и спорта Украины, Днепропетровск, 2013.

В диссертации получены новое решение задачи совершенствования режимов тяги грузовых поездов, с учетом стоимости потребленной активной и реактивной электроэнергии, в условиях переменных тарифов и оптового рынка электроэнергии. Цель работы – формирование основ для уменьшения стоимости потребленной на тягу грузовых поездов электроэнергии за счет выбора рациональных режимов ведения поездов в условиях переменных тарифов.

Впервые установлена существенная разница, а также необходимость разработки пакетов режимных карт ведения грузовых поездов, оптимальных по критериям минимума потребления и стоимости электроэнергии в условиях переменных тарифов и ОРЭ. Предложено кусочно-линейную аппроксимацию тарифов на электроэнергию ОРЭ, состоящую из четырех интервалов и позволяющую с необходимой для практики точностью рассчитать оптимальные по стоимости режимы тяги поездов.

Предложены усовершенствованные критерии стоимостной эффективности применения переменных тарифов, учитывающие активную и реактивную составляющую электропотребления. Усовершенствованы математические модели для управления тягой грузовых поездов, учитывающие стоимость потребленной в разные периоды суток активной и реактивной энергии.

На основе анализа экспериментальных данных получено математическое описание коэффициента мощности, которое позволяет получить уточненные режимы тяги поездов, учитывающую разную стоимость реактивной и активной электроэнергии.

Получено развитие критериев стоимостной эффективности перевода тяговых подстанций железных дорог на условия оплаты по сменным тарифам, которые учитывают активную и реактивную составную потребления электроэнергии и их разную удельную стоимость. Критерии дают возможность определить эффективность переменных тарифов на электроэнергию для заданных графиков движения поездов, а также учитывают стохастические свойства тарифов в условиях ОРЭ.

На основе данных опытных поездок разработан адаптивный метод расчета рациональных режимов ведения грузовых поездов, основанный на нечеткой модели управления, который обеспечивает достаточную для практики точность управления движением поезда, используя наборы эталонных режимов тяги.

Установлено, что при управлении потоком поездов, рациональным по стоимостным показателям, обеспечивается нормативно допустимый интервал между поездами.

Усовершенствованы средства автоматизации расчетов рациональных режимов тяги грузовых поездов по стоимостным показателям потребления активной и реактивной электрической энергии в условиях переменных тарифов и ОРЭ. Программный комплекс позволяет решать задачи расчета режимов тяги поездов рациональных по стоимости потребленной электроэнергии при сменных тарифах, а также компромиссно-оптимальные режимы тяги поездов, позволяет автоматически формировать адаптивную нечеткую модель управления тягой поездов и выдавать рекомендации относительно изменения управления поездом во время движения др.

Ключевые слова: режимы тяги, грузовые поезда, переменные тарифы, оптовый рынок электрической энергии, критерии минимума потребления и стоимости электроэнергии, нечеткое адаптивное управление, активная и реактивная энергия.

ANNOTATION

Ivanov A.P Improvement the modes of traction trains for minimizing cost of consumed electricity at variable rates. - Manuscript.

Thesis for the candidate's degree in technical sciences on specialty 05.22.07 - railway rolling stock and train traction. Dnepropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician Lazaryana of Ministry of Education and Science, Youth and Sports, of Ukraine, Dnepropetrovsk, 2013.

Established a significant difference for traction freight trains, optimal criteria for minimum consumption and energy costs with variable rates and wholesale electricity market (WEM), and the need for secure card packs of trains that can be used on electrified at different periods of time.

Received development cost effectiveness criteria transfer railway traction substations on the terms of payment on replacement rates, which take into account the active and reactive component power consumption and their different unit cost. Criteria make it possible to determine the effectiveness of replacement electricity tariffs for fixed train schedules, and take into account stochastic property rates in the WEM. Found that the rational value indicators for managing the flow of trains in conditions of variable electricity rates and WEM regime change control individual trains immaterial impact on the running time of trains on race, while ensuring regulatory permissible interval between trains. **Keywords:** traction modes, freight trains, variable rates, wholesale electricity market, the criteria for minimum consumption and cost of electricity, fuzzy adaptive control, active and reactive energy.

Іванов Олександр Петрович

**Удосконалення режимів тяги поїздів за вартісними показниками при
змінних тарифах на електроенергію**

05.22.07 - рухомий склад залізниць та тяга поїздів

АВТОРЕФЕРАТ
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Підписано до друку

Формат паперу 60x84/16. Ум. друк. арк. 0,9. Обл.-вид. арк. 1,0.

Замовлення. № _____. Тираж 100

Видавництво Дніпропетровського національного університету залізничного
транспорту імені академіка В. Лазаряна

Свідоцтво суб'єкта видавничої діяльності ДК № 1315 від 31.03.2003

Адреса видавництва та дільниці оперативної поліграфії:
вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ 49010
www.diitrvv.dp.ua,