

МІНІСТЕРСТВО ТРАНСПОРТУ ТА ЗВ'ЯЗКУ УКРАЇНИ  
ДНІПРОПЕТРОВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ  
ІМЕНІ АКАДЕМІКА В. ЛАЗАРЯНА

БОБИРЬ ДМИТРО ВАЛЕРІЙОВИЧ

УДК 629.4.016.12 (035)

УДОСКОНАЛЕННЯ РЕЖИМІВ ВЕДЕННЯ ВАНТАЖНОГО  
ПОЇЗДА З ЕЛЕКТРИЧНОЮ ТЯГОЮ

05.22.07 – рухомий склад залізниць та тяга поїздів

АВТОРЕФЕРАТ  
дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Дніпропетровськ – 2007

Дисертацією є рукопис

Робота виконана у Дніпропетровському національному університеті залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна Міністерства транспорту та зв'язку України

- Науковий керівник – доктор технічних наук, професор  
*БОДНАР Борис Євгенович*,  
Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна  
Міністерства транспорту та зв'язку України,  
завідувач кафедри “Локомотиви”, перший проректор
- Офіційні опоненти: – доктор технічних наук, професор  
*ТАРТАКОВСЬКИЙ Едуард Давидович*,  
Українська державна академія залізничного транспорту Міністерства транспорту та зв'язку України, м. Харків, завідувач кафедри експлуатації та ремонту рухомого складу
- кандидат технічних наук  
*ЄВДОМАХА Григорій Васильович*,  
Галузева науково-дослідна лабораторія динаміки та міцності рухомого складу Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна  
Міністерства транспорту та зв'язку України, провідний науковий співробітник
- Провідна установа – Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля, кафедра “Залізничний транспорт” Міністерства освіти і науки України, м. Луганськ

Захист відбудеться 07.06.2007 р. о 15 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 08.820.02 при Дніпропетровському національному університеті залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна за адресою: 49010, м. Дніпропетровськ, вул. Акад. В. Лазаряна, 2, ауд. 314 (зала засідань)

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

Автореферат розісланий 03.05.2007 р.

Вчений секретар  
спеціалізованої вченої ради

І. В. Жуковицький

## ЗАГАЛЬНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ РОБОТИ

*Актуальність теми.* Економічний стан, що склався в Україні, вимагає підвищення ефективності роботи усіх галузей господарської діяльності і, зокрема, залізничного транспорту. У ринкових умовах роботи питання зниження експлуатаційних витрат набуває особливого значення. Виконуючи більше половини загальнотранспортного об'єму перевізної роботи, залізничний транспорт споживає близько 15 % енергоресурсів, що використовуються всіма видами транспорту. Значну частину експлуатаційних витрат залізниць складають витрати на електроенергію – близько 6 млрд. кВт·год на рік, з них 4,5 млрд. кВт·год на рік на електротягу. У локомотивному господарстві витрати енергоресурсів на тягу поїздів складають до 51 % експлуатаційних витрат. Ці дані кількісно підтверджують той факт, що витрати електроенергії на здійснення транспортних послуг є одним із основних показників ефективності роботи транспорту в цілому.

У зв'язку з постійним зростанням вартості електроенергії, а також введенням диференційованих тарифів її оплати, в 1996 р. Державна Адміністрація залізничного транспорту України (Укрзалізниця) прийняла і затвердила “Програму енергозбереження на залізничному транспорті України на 1996–2010 роки”. Програма визначила завдання залізницям зі скорочення споживання паливно-енергетичних ресурсів на тягу поїздів. У червні 1998 р. Кабінетом Міністрів України прийнята постанова № 769 “Про заходи державної підтримки залізничного транспорту”, направлена на ефективніше використання основних фондів залізничного транспорту, а саме, зниження на один відсоток питомих витрат енергоресурсів на тягу поїздів за кожен рік.

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

Необхідність проведення досліджень з даної тематики відображена у Концепції і Програмі реструктуризації залізничного транспорту України на 1998–2008 р.р.

Рівень витрат паливно-енергетичних ресурсів в локомотивному господарстві залежить від економічності тягового рухомого складу, ефективності його використання та, в значній мірі, відповідності вибраного режиму ведення поїздів раціональному.

У зв'язку з цим завдання розробки методик оперативного розрахунку раціональних режимних карт ведення поїзда з урахуванням його характеристик і реальних умов експлуатації є нагально важливим.

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

Робота виконана у відповідності з основними напрямками розвитку науки та техніки, викладеними в Постанові Кабінету Міністрів України “Про заходи державної підтримки залізнично-

го транспорту”, в щорічних координаційних планах НІОКР “Укрзалізниці”, програмою “Електропостачання на залізничному транспорті України на період 1996–2010 роки”, схваленою рішенням техніко-економічної ради Укрзалізниці від 26.06.1996 р. , в Концепції і Програмі реструктуризації на залізничному транспорті України, які затверджені рішеннями колегії Міністерства транспорту України відповідно 18.06.1997 р. (протокол № 14) і 18.08.1998 р. (протокол № 30).

Обраний напрямок досліджень пов’язаний з виконанням планів науково-дослідних робіт у Дніпропетровському національному університеті залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна – госпрозрахунковою темою “Підвищення ефективності системи технічної експлуатації локомотивів Придніпровської залізниці” (№ ДР 0198U007851); у Східному науковому центрі Транспортної академії України: “Розробка і дослідні випробування пристрою для організації оптимального ведення поїзда машиністом” (№ ДР 0105U001796); “Обладнання електровоза серії ВЛ8 пристроєм для навчання машиністів раціональним режимам ведення поїздів” (№ ДР 0106U006498).

*Мета і задачі дослідження.* Метою роботи є зниження витрат електроенергії на тягу поїздів за рахунок вибору раціональних режимів їх ведення.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі задачі:

1. Проаналізувати існуючі математичні моделі та методи оптимізації режимів ведення вантажного поїзда по ділянці.
2. Сформувати математичну модель руху поїзда, адаптовану для вирішення тягово-оптимізаційних завдань з урахуванням індивідуальних особливостей поїзда та ділянки прямування.
3. Розробити метод розрахунку раціональних, економічно доцільних індивідуальних режимів ведення поїзда.
4. Розробити комплекс алгоритмів для розрахунку індивідуальних режимних карт ведення поїзда, а також відповідне програмне забезпечення.
5. Провести оцінку адекватності розробленого методу шляхом проведення дослідних поїздок з локомотивом, обладнаним апаратно-програмним комплексом (АПК) для розрахунку раціональних режимів ведення поїзда і подальшого порівняння отриманих результатів із статистичними даними, що зафіксовані в маршрутних листах попередніх поїздок.
6. Обґрунтувати економічну ефективність використання запропонованих раціональних режимів ведення поїзда.

*Об’єкт дослідження* – процес переміщення поїзда по тягових ділянках електровозом.

*Предмет дослідження* – режими ведення поїзда електровозом.

*Методи дослідження.* Для вирішення поставлених задач застосовані: аналіз літературних джерел і узагальнення досліджень з розробки раціональних режимів ведення поїздів, що виконані раніше; при моделюванні руху поїзда застосовані методи системного аналізу; при розробці раціо-

нальних режимних карт використовувалися методи векторної оптимізації; при перевірці адекватності моделі використані методи імітаційного моделювання на ПЕОМ, математичної статистики та експериментальних досліджень в умовах експлуатації.

Обробка експериментальних даних виконувалася на ПЕОМ з використанням спеціалізованого програмного забезпечення: *STATISTIKA*, *EXCEL* та *MAPLE*.

Достовірність і обґрунтованість отриманих в дисертації наукових положень і результатів базується на використанні сучасних методів математичного моделювання і теорії оптимального керування, коректних припущень, узгодженістю результатів математичного моделювання та експериментальних даних.

*Наукова новизна одержаних результатів* полягає у розвитку методики розрахунку раціональних режимів ведення вантажного поїзда, а саме:

- удосконалено метод проведення тягових розрахунків в частині інтегрування рівняння руху поїзда з використанням символічних перетворень, що дозволило отримати рішення в вигляді аналітичних залежностей шляху від швидкості, значно скоротити час та збільшити точність обчислень;

- удосконалено метод вирішення задачі раціонального розподілу часу ходу по перегонах з використанням векторної оптимізації, що дозволяє обирати раціональний варіант ведення поїзда по ділянці;

- дістав подальший розвиток метод формування непорівнянних (по Парето) варіантів тягових розрахунків при побудові множини траєкторій руху, що дозволяє отримувати залежність мінімальної роботи по переміщенню поїзда від часу його руху по кожному перегону.

*Практичне значення отриманих результатів роботи.* На основі наведених в роботі удосконалених методів та розроблених алгоритмів реалізовано програмне забезпечення, яке:

- дозволило удосконалити апаратно-програмний комплекс з розрахунку раціональних режимів ведення поїзда, які дозволяють додатково економити 4–12 % електроенергії на тягу поїздів;

- дає змогу автоматизувати процес накопичення та обробки виконаних маршрутів, оперативно розраховувати індивідуальні режимні карти, оптимізовані за мінімумом витрат електроенергії на переміщення поїзда, з урахуванням виконання графіку руху, а також виконувати тягово-оптимізаційні розрахунки для конкретних умов експлуатації, нормувати витрати електроенергії на тягу поїздів для різних ділянок, мас поїздів, часу ходу, постійних і тимчасових обмежень швидкості;

- досліджувати впливи швидкісних обмежень і маси поїздів на витрату енергоресурсів і час ходу для реального профілю розрахункових ділянок.

*Впровадження результатів роботи.* Апаратно-програмний комплекс використовується в локомотивному депо Нижньодніпровськ-Вузол Придніпровської залізниці, а програмна частина комплексу – в локомотивному депо Львів-Захід Львівської залізниці для оперативного розрахунку і видачі індивідуальних режимних карт ведення поїзда, раціональних за витратою електроенергії

при заданому часі ходу, для розрахунку технологічної норми енерговитрат для сформованого поїзда до його відправлення, а також для навчання машиністів раціональним режимам ведення.

Програмна частина апаратно-програмного комплексу, методика і результати досліджень впроваджені в навчальній процес підготовки студентів Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна за спеціальністю 8.100501 “Рухомий склад та спеціальна техніка залізничного транспорту (локомотиви)” та 8.100403 “Організація перевезень і управління на транспорті”.

*Особистий внесок здобувача.*

Основні положення та результати, приведені в роботі, отримані автором самостійно. У роботах, опублікованих у співавторстві, дисертанту належать:

– запропонований метод формування непорівнянних варіантів тягових розрахунків і проведена його чисельна реалізація на модельному прикладі [1];

– розроблені вимоги, структура бази даних реєстрованих параметрів руху поїзда апаратно-програмним комплексом, проведений статистичний аналіз результатів, отриманих під час проведення дослідних поїздок, чисельна оцінка ефективності використання раціональних режимів руху на реальних ділянках колії [3];

– на основі аналізу складових витрат собівартості перевезень запропоновано метод визначення оптимальної маси поїзда [5];

– реалізація методу на модельному прикладі з визначення впливу недосконалості колії, рейок та бандажів коліс на опір руху, формування висновків [10].

*Апробація результатів дисертації.* Основні положення дисертації доповідались на:

– XI міжнародній конференції “Проблеми механіки залізничного транспорту” (Дніпропетровськ, ДІТ, 2004);

– 65 міжнародній науково-практичній конференції “Проблеми і перспективи розвитку залізничного транспорту” (Дніпропетровськ, ДІТ, 2005);

– LXVI міжнародній науково-практичній конференції “Проблеми і перспективи розвитку залізничного транспорту” (Дніпропетровськ, ДІТ, 2006);

– XVI міжнародній науково-практичній конференції “Проблеми розвитку рейкового транспорту” (Крим, 2006).

У повному обсязі дисертація доповідалась і була схвалена на міжкафедральному науковому семінарі кафедр “Локомотиви”, “Вагони”, “Прикладна математика”, “Прикладна механіка”, “Автоматизований електропривід”, “Енергопостачання залізниць”, “Технологія матеріалів” Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна.

*Публікації.* За темою дисертації опубліковано 6 статей у виданнях, затверджених ВАК України, а також 4 тези доповідей на міжнародних конференціях. Крім того, отримано свідоцтво про

реєстрацію авторського права на комп'ютерну програму.

*Структура і об'єм роботи.* Дисертація складається з вступу, шести розділів, висновків, списку використаних джерел і додатків. Повний об'єм дисертації складає 187 сторінок, в тому числі 134 сторінки тексту, 57 рисунків, 23 таблиці, список використаних джерел із 140 найменувань, викладений на 11 сторінках, 9 додатків на 31 сторінці.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтована актуальність роботи, сформульована мета і задачі досліджень, приведені основні наукові положення та результати, винесені на захист, а також відомості про практичне значення результатів роботи, їх апробацію і публікацію матеріалів дослідження.

У першому розділі показано сучасний стан задачі, що досліджується. Проаналізовано динаміку витрат енергоресурсів на тягу поїздів та її зв'язок з обсягом перевезень. Так, за останні чотири роки спостерігається зростання витрат електроенергії на тягу поїздів на 20 %. Основними причинами такої тенденції є погіршення технічного стану рухомого складу, збільшення кількості постійно діючих обмежень швидкості, збільшення неграфікових зупинок поїздів та зменшення ваги вантажних поїздів.

Можна виділити два напрямки вирішення задачі економії енергоресурсів на тягу поїздів:

- оптимізація графіку руху поїздів;
- застосування раціональних режимів керування локомотивом при заданому графіком руху часу ходу.

Другий напрямок є найбільш ефективним з точки зору економії енергоресурсів.

Розробці методів визначення оптимальних режимів ведення передували значні фундаментальні дослідження задач тяги поїздів, в основу яких були покладені роботи таких видатних науковців та інженерів, як: Б. Д. Воскресенського, В. М. Щегловитова, І. І. Васильєва, Є. Ф. Єгорченка, А. М. Бабічкова, П. Т. Гребенюка, П. А. Гурського, І. П. Ісаєва, П. М. Астахова, В. Е. Розенфельда, Б. М. Максимовича, О. П. Новикова, Д. А. Штанге, М. М. Сидорова та інших.

Застосуванням сучасного математичного апарату, методів оптимізації з використанням ПЕОМ для розрахунку раціональних режимів ведення, займалися: О. П. Новиков, О. Я. Гаккель, Ю. П. Петров, О. Д. Попов, Л. О. Баранов, А. М. Костромин, Б. Г. Постол, Є. В. Єрофеев, І. П. Ісаєв, В. К. Крилов, Л. А. Мугинштейн, В. М. Лісіцин, В. П. Феоктистов, О. А. Некрасов, Б. Є. Боднар, А. А. Босов, Г. К. Гетьман, Г. П. Епштейн, І. І. Галлієв, В. О. Нехаєв, Є. В. Попов та інші.

Оптимальним режимам ведення, з урахуванням динамічної завантаженості поїзда та безпеки руху, присвячені роботи М. Є. Жуковського, С. О. Чаплигіна, В. А. Лазаряна, Є. П. Блохіна, Л. М. Коротенка, Л. А. Манашкіна, Г. І. Богомаза, С. В. Мямліна та інших авторів. У роботах О. М.

Пшінька, В. В. Скалозуба, Г. В. Євдомахи задача оптимізації режимів руху поїздів розв'язуються з урахуванням диференціації тарифів оплати електроенергії.

Аналіз інформаційних джерел, опублікованих у нашій країні та за кордоном, показав, що резерви економії енергоресурсів на тягу поїздів ще не вичерпані, а використання раціональних режимів ведення поїздів є основним фактором зниження їх витрат. Причому додаткову економію можна отримати шляхом індивідуальної оптимізації режимів ведення певного вантажного поїзда для реальних умов експлуатації з урахуванням розподілення маси поїзда за елементами повздовжнього профілю та впливу напруги в контактному проводі на основні техніко-економічні характеристики електровоза.

Сучасний рівень розвитку засобів обчислювальної техніки дозволяє широко використовувати інформаційно-обчислювальні комплекси на базі ПЕОМ для розрахунку енергооптимальних режимів.

Аналіз робіт в області оптимального керування показує, що для визначення раціональної програми ведення поїзда по ділянці, найбільш перспективними є багатокрокові схеми й алгоритми оптимізації, що засновані на динамічному програмуванні, його модифікаціях та векторній оптимізації.

Порівняння різних моделей поїзда показує, що найбільшу похибку у розрахунку швидкості й функціонала ефективності керування дає модель у вигляді матеріальної точки, а найкращу збіжність дають дискретні моделі у вигляді гнучкої нерозтяжної нитки зі змінною погонною масою та схема “поїзд – ланцюжок твердих тіл”, однак ефективна реалізація останньої в оптимізаційних задачах викликає певні обчислювальні труднощі, тому використовується вона лише при дослідженні механічних коливальних процесів, силових взаємодій екіпажів та урахування відповідних обмежень.

У другому розділі сформовано математичну модель руху поїзда по ділянці, що представлена як сукупність математичних моделей характеристик локомотива, ділянки проходження, сил опору руху та гальмівних сил.

В основу математичної моделі руху поїзда покладена система диференціальних рівнянь

$$\begin{cases} \frac{d(V)^2}{dx} = \frac{2\xi}{(P+Q)(1+\gamma)} F; \\ \frac{d\tau}{dx} = \frac{\tau_\infty (I_{\ddot{a}}(V, u(x), U_{\bar{n}}(x))) - \tau(x)}{V(x) \dot{O}(I_{\ddot{a}}(V, u(x), U_{\bar{n}}(x)))}, \end{cases} \quad (1)$$

де  $V, x$  – відповідно, швидкість і координата голови поїзда;  $\xi$  – коефіцієнт приведення одиниць розмірності;  $P, Q$  – вага, відповідно, локомотива і состава;  $\gamma$  – коефіцієнт інерції мас, що обертаються;  $F$  – сумарна сила, що діє на поїзд;  $\tau$  – температура перегріву ТЕД;  $\tau_\infty$  – сталі значення тем-



ператури перегріву;  $u(x)$  – керування;  $U_c(x)$  – напруга на струмоприймачі електровоза;  $T$  – теплова стала часу;

$$F = Y - W(x, V, u(x)),$$

$Y$  – сила тяги  $Y = F_k(V, u(x), U_c(x))$  або гальмування  $Y = -B_r(V, k'(t), u(x), U_c(x))$ ;  $W$  – загальний опір поступальному рухові поїзда;  $k'$  – сумарна сила натискання гальмівних колодок.

Розрахунок основного опору руху поїзда, додаткових опорів від ухилів, кривих, низької температури зовнішнього повітря, зустрічного та бічного вітру виконується за методикою, наведеною у “Правилах тягових розрахунків для поїзної роботи”.

Інформація про вихідні характеристики електровоза задана не аналітично, а дискретно, у вигляді скінченної множини значень. Внаслідок того, що реалізація обчислювальних алгоритмів раціонального керування локомотивом передбачає необхідність відновлення функції з дискретної множини точок на безперервну область її визначення (рис. 1), для апроксимації вихідних характеристик запропоновано використовувати сплайн-функції:

$$S(x) = y_0 + c_0(x - x_0) + \sum_{k=1}^{n-1} c_k (x - x_k)_+, \quad (2)$$

де

$$(x - x_k)_+ = \begin{cases} 0, & x \leq x_k; \\ (x - x_k), & x > x_k; \end{cases}$$

$c_0, c_k$  – коефіцієнти рівняння сплайн-функції.

Рис. 1. Геометрична інтерпретація інтерполяції вихідних характеристик сплайн-функціями

Модель поїзда представлена у вигляді нерозтяжної гнучкої нитки, а сили додаткового опору руху визначаються за виразами:

– від ухилів у профілі

$$W_i(x) = \int_{x-L_i}^x i(x_n) P_n(x_n) dx_n, \quad (3)$$

– від кривих у плані

$$W_r(x) = \int_{x-L_i}^x i_r(x_n) P_n(x_n) dx_n, \quad (4)$$

де  $i(x_n)$  – величина ухилу в координаті  $x_n$ ;  $x$  – координата голови поїзда;  $P_n$  – погонне навантаження;  $i_r(x_n)$  – величина фіктивного підйому від кривих в плані.

На сучасному рівні розвитку обчислювальної техніки та програмного забезпечення вирішення диференційного рівняння руху можливо в явному вигляді. Даний підхід було реалізовано за допомогою пакета символічних обчислень *Maple*, що дозволило проводити дослідження у замкненій математичній формі та отримувати аналітичні залежності шляху та часу ходу від швидкості по всіх елементах ділянки прямування поїзда при побудові кривих швидкості.

У *третьому розділі* викладено теоретичні основи формування варіантів траєкторій руху та розподілу часу ходу по перегонах ділянки.

При розрахунку раціональних режимів ведення поїзда враховуються наступні загальні принципи, що засновані на виконаному аналізі впливу керування локомотивом на енерговитрати при переміщенні поїзда:

– при зрушенні з місця та розгоні необхідно реалізовувати такі режими роботи тягових електродвигунів (ТЕД), які забезпечують максимальне прискорення поїзда при найменшій імовірності боксування колісних пар локомотива;

– при русі по елементах профілю з постійним обмеженням швидкості реалізуються режими, що забезпечують підтримання швидкості, максимально близької до допустимої за умовами безпеки. Режими роботи ТЕД обираються, виходячи з реалізації найбільшого значення к.к.д. електровоза.

Для формування непорівнянних варіантів траєкторій руху якість керування локомотивом оцінюємо двома показниками – часом ходу  $t$  та механічною роботою  $A$ :

$$t[v(s)] = \int_0^l \frac{ds}{v(s)} \quad (5)$$

$$A[v(s)] = \int_0^l \omega(v(s)) ds. \quad (6)$$

де  $v$  – швидкість руху поїзда;  $s$  – координата шляху;  $l$  – довжина ділянки;  $\omega$  – питомий опір руху поїзда.

Якщо  $u(s)$ ,  $s \in [0, l]$  допустиме керування, то виникає задача – знайти таке керування, щоб

$$\left( \begin{array}{c} t[v(s)] \\ A[v(s)] \end{array} \right) \rightarrow \min \quad (7)$$

тобто приходимо до задачі векторної оптимізації.

Якщо  $v_{\max}(s)$  – максимально припустима швидкість по керуванню та обмеженням швидкості руху, що забезпечує мінімальний час ходу, а  $v(s)$  – швидкість, що задовольняє початковому та кінцевому значенню і нерівності

$$v_{\max}(s) \geq v(s), s \in [0, l],$$

то завжди існує допустиме керування  $u(s)$ , яке дозволяє реалізувати швидкість  $v(s)$ .

Рішенням задачі векторної оптимізації є набір швидкостей  $\{v(s)\}$  з множини  $V^*$ , що визначаються виразом

$$v^*(s | \alpha, v_0) = \begin{cases} v_{\max}(s), & \text{якщо } v_{\max}(s) < v_0; \\ v_0 + \alpha(v_{\max} - v_0), & \text{якщо } v_{\max}(s) \geq v_0, \end{cases} \quad (8)$$

де  $\alpha$  – параметр, що змінюється у межах  $0 \leq \alpha \leq 1$ ;  $v_0$  – значення швидкості, що змінюється у межах  $v_0 \leq \max_{0 \leq S < l} v_{\max}(s)$ ,  $v_{\max}(s)$  – максимальне значення швидкості на перегоні, за результатами тягового

розрахунку за швидкодією.

Якісний характер елементів з  $V^* = \{v^*(s | \alpha, v_0) : 0 \leq \alpha \leq 1; v_0 \in [\underline{v}, \bar{v}]\}$  наведено на рис. 2, а інтервал  $[\underline{v}, \bar{v}]$  визначається наступним чином

$$\begin{aligned} \bar{v} &\leq \max_{0 \leq s \leq l} v_{\max}(s); \\ \underline{v} &\geq \max\{v_1, v_{\hat{e}}\}, \end{aligned} \quad (9)$$

де  $v_n, v_k$  – початкове та кінцеве значення швидкості на перегоні;  $\underline{v}, \bar{v}$  – нижня та верхня межі швидкості при формуванні непорівнянних варіантів траєкторій.

Елементи множини  $V^*$  являють собою непорівнянні варіанти за критерієм (7).

Зазначимо, що якщо  $v^*(s | \alpha_1, v_0)$  і  $v^*(s | \alpha_2, v_0)$  належать  $V^*$ , тоді

$$\left( \begin{array}{l} t[v^*(s | \alpha_1, v_0)] < t[v^*(s | \alpha_2, v_0)] \\ A[v^*(s | \alpha_1, v_0)] \geq A[v^*(s | \alpha_2, v_0)] \end{array} \right) \quad (10)$$

при  $\alpha_1 > \alpha_2$ .

Для ділянки, що складається з  $n$  перегонів, для кожного  $i$ -го перегону, у відповідності з методом непорівнянних варіантів тягових розрахунків, визначено залежності мінімальної роботи з подолання сил опору від часу руху поїзда –  $A_i(t_i)$  у інтервалі від  $\underline{t}_i$ , що визначений тяговим розрахунком за швидкодією, до  $\bar{t}_i$ , що визначено значенням  $v_0$ .

Рис. 2. Якісний характер формування непорівнянних траєкторій при фіксованому  $v_0$  та при  $\alpha_1 > \alpha_2$

Таким чином, постановка задачі раціонального розподілу часу ходу по перегонах полягає у визначенні  $t_i$ , таких щоб

$$\left[ \begin{array}{c} \sum_{i=1}^n A_i(t_i) \\ \sum_{i=1}^n t_i \end{array} \right] \rightarrow \min, \quad (11)$$

тобто розглядається задача векторної оптимізації.

Прийнявши  $T=(t_1, t_2, \dots, t_n)$ , будемо вважати, що розподіл часу хода  $T=\sum_{i=1}^n t_i$  кращий, ніж

розподіл  $T'=\sum_{i=1}^n t'_i$ , якщо виконуються нерівності

$$\left[ \begin{array}{c} \sum_{i=1}^n A_i(t_i) \leq \sum_{i=1}^n A_i(t'_i) \\ \sum_{i=1}^n t_i \leq \sum_{i=1}^n t'_i \end{array} \right], \quad (12)$$

причому має місце хоча б одна строга нерівність.

Співвідношення (12) дозволяють сформулювати відношення Парето для відбору непорівнянних варіантів, які будемо розуміти як рішення задачі векторної оптимізації (11).

Непорівнянні варіанти знаходимо, розв'язуючи задачу на умовний екстремум

$$\sum_{i=1}^n A_i(t_i) \rightarrow \min \quad (13)$$

при умові  $\sum_{i=1}^n t_i = t$ .

Уводячи функцію Лагранжа

$$L(t_1, t_2, \dots, t_n, \lambda) = \sum_{i=1}^n A_i(t_i) + \lambda \sum_{i=1}^n t_i, \quad (14)$$

приходимо до задачі на безумовний екстремум, де  $\lambda$  – невизначений множник Лагранжа.

Виконуючи параметризацію сумарного часу ходу та сумарної роботи по перегонах, та виключивши параметр  $\lambda$ , отримаємо залежність  $A(t)$  (рис. 3), яка дозволяє при заданому часі ходу по всіх перегонах  $t$ , визначити траєкторію з мінімальною механічною роботою, а відповідно й витратою енергоресурсів.

Рис. 3. Якісний характер залежності мінімальної роботи від часу ходу по всіх перегонах, де

$$\underline{t} = \sum_{i=1}^n \underline{t}_i, \quad \bar{t} = \sum_{i=1}^n \bar{t}_i$$

Оскільки залежності  $A_i(t_i)$  мають вигляд  $A_i(t_i) = \frac{a_i}{t_i} + b_i$ , то функція Лагранжа для  $i$ -го перего-

ну  $-\frac{a_i}{t_i^2} + \lambda = 0$ , час ходу  $t_i(\lambda) = \sqrt{\frac{a_i}{\lambda}}$ , а  $t_i^*(\lambda)$  визначається як

$$t_i^*(\lambda) = \begin{cases} \underline{t}_i, & \text{якщо } \sqrt{\frac{a_i}{\lambda}} \leq \underline{t}_i; \\ \sqrt{\frac{a_i}{\lambda}}, & \text{якщо } \underline{t}_i < \sqrt{\frac{a_i}{\lambda}} < \bar{t}_i; \\ \bar{t}_i, & \text{якщо } \sqrt{\frac{a_i}{\lambda}} \geq \bar{t}_i. \end{cases} \quad (15)$$

Для усієї ділянки:

$$\text{– час ходу: } t(\lambda) = \sum_{i \in \underline{J}(\lambda)} \underline{t}_i + \sum_{i \in \bar{J}(\lambda)} \bar{t}_i + \sum_{i \in \mathcal{J}(\underline{J} \cup \bar{J})} \sqrt{\frac{a_i}{\lambda}}, \quad (16)$$

$$\text{– робота: } A(\lambda) = \sum_{i=1}^n b_i + \sum_{i \in \underline{J}(\lambda)} \frac{a_i}{\underline{t}_i} + \sum_{i \in \bar{J}(\lambda)} \frac{a_i}{\bar{t}_i} + \sum_{i \in \mathcal{J}(\underline{J} \cup \bar{J})} \sqrt{a_i \lambda}. \quad (17)$$

де  $\mathcal{J} = \{1, 2, \dots, n\}$  – перелік всіх індексів  $i$ ;  $\underline{J}(\lambda)$  – перелік індексів  $i$ , для яких  $\sqrt{\frac{a_i}{\lambda}} \leq \underline{t}_i$ ;  $\bar{J}(\lambda)$  – пере-

лік індексів  $i$ , для яких  $\sqrt{\frac{a_i}{\lambda}} \geq \bar{t}_i$ .

Співвідношення (16) і (17) є параметричним завданням кривої  $A(t)$  (див. рис. 3).

У четвертому розділі наведено опис апаратно-програмного комплексу з розрахунку раціональних режимів ведення поїзда та видачі режимних карт.

У відповідності з математичною моделлю, наведеною вище, алгоритм розв'язання задачі вибору режиму ведення поїзда ґрунтується на методі нелінійного програмування на основі множників Лагранжа та векторної оптимізації.

Апаратно-програмний комплекс має наступні основні функціональні можливості:

1. Введення та корегування нормативно-довідкової інформації характеристик ділянок і напрямків прямування.

2. Реєстрації та обробки зі збереженням у базі даних параметрів руху та ділянки прямування, таких як дійсні: швидкість руху, струм електровоза, струм ТЕД, напруга на струмоприймачі електровоза, сигнали АЛСН.

3. Розрахунку фізико-механічних і енергетичних показників руху поїзда безпосередньо перед поїздкою та корегування в процесі поїздки, зокрема, розрахунок значення рекомендованої швидкості та режимів керування за раціональною траєкторією, часу ходу поїзда, витрат і рекуперації електроенергії (зі збереженням результатів у базі даних).

Апаратно-програмний комплекс складається із чотирьох частин:

- нормативно-довідкової бази даних;
- модуля введення та корегування нормативно-довідкової інформації;
- модуля розрахунку;
- модуля реєстрації параметрів руху електровоза та умов проходження ділянки.

У процесі поїздки розроблене програмне забезпечення здійснює почергове опитування приладів виміру силових струмів і напруг, швидкості, положення контролера машиніста та сигналів АЛСН, підключених через загальну лінію зв'язку до СОМ-порту обчислювального пристрою.

Опитування виконується посилкою в лінію зв'язку коду виклику, у якому міститься адреса пристрою, що викликається. Всі прилади приймають код виклику та отримують із нього адресу пристрою. Той прилад, чия унікальна внутрішня адреса збігається з тією, що викликається, починає передавати дані. Дані передаються з деякою затримкою в часі, необхідною для перемикання програмно-апаратних засобів обчислювального пристрою з режиму передачі в режим прийому.

Удосконалено структуру та сформовано базу даних під керуванням СУБД *InterBase*, яка включає в себе характеристики електровозів та обладнання систем енергопостачання, дані по електрифікованих ділянках Донецької, Придніпровської, Південно-Західної, Південної та Львівської залізниць, що дозволяє оперативно виконувати розрахунки раціональної траєкторії руху з урахуванням реальних умов поїзної ситуації.

У *н'ятому розділі* сформульовано вимоги до технології проведення дослідних поїздок з оцінки адекватності розробленої імітаційної моделі раціонального керування електровозом, реалізованої в АПК і економії енерговитрат при русі за раціональними режимами.

Результати проведених дослідних поїздок на ділянці Н.Д.-Вузол–Чапліно свідчать про те, що розраховані за запропонованою методикою витрати електроенергії відповідають реальним, з похибкою не більш 3 %, а також, що при реалізації розроблених раціональних індивідуальних режимних карт економія питомої витрати електроенергії у порівнянні з режимами, що застосовуються досвідченими машиністами, становила від 4,4 до 12,8 %.

Робота АПК з розрахунку та видачі індивідуальних режимних карт проілюстровано на реальному прикладі режимної карти ведення електровозом серії ВЛ8 вантажного поїзда для состава масою 3250 т на парному напрямку ділянки Н.Д.-Вузол–Чапліно.

У шостому розділі виконано оцінку техніко-економічної ефективності впровадження раціональних режимів ведення поїзда, що розраховані за допомогою АПК.

Ефект від застосування раціональних режимів ведення буде досягнутий за рахунок зниження витрат енергоресурсів на тягу поїздів.

Розрахунки проведено для локомотивного депо Н.Д.-Вузол Придніпровської залізниці. Поздовжній профіль колії на розрахункових перегонах середньої складності, тому величину зниження питомих витрат енергоресурсів, у відповідності з результатами дослідних поїздок, прийнято мінімальною – 4 %. При середньорічній витраті електроенергії на поїзну роботу рівній 38,4 млн. кВт·год та вартості 1 кВт·год – 0,27 грн., економія електроенергії в грошовому еквіваленті складе 414 тис. грн. за рік. Капітальні вкладення становлять 152 тис. грн. та розподілені на три роки.

Проведені техніко-економічні розрахунки підтвердили ефективність впровадження апаратно-програмного комплексу з розрахунку та видачі індивідуальних режимних карт ведення поїзда. Розрахунковий строк окупності апаратно-програмного комплексу склав десять місяців, чистий дисконтований дохід для розрахункового періоду (п'ять років) – 1430880 грн., індекс доходності – 10,02.

## ВИСНОВКИ

Дисертаційна робота містить отримані автором результати, які у сукупності вирішують науково-практичну задачу зниження витрат електроенергії на тягу поїздів за рахунок вибору раціональних режимів їх ведення. Виконані у роботі дослідження дозволяють зробити наступні висновки та пропозиції:

1. Аналіз інформаційних джерел, опублікованих у нашій країні й за кордоном, показав, що резерви економії енергоресурсів на тягу поїздів ще не вичерпані, а використання раціональних режимів ведення поїздів є основним фактором зниження їхньої витрати. Причому додаткову економію можна отримати шляхом індивідуальної оптимізації режимів ведення певного вантажного поїзда для реальних умов експлуатації.

Аналіз робіт в області оптимального керування показує, що для рішення задачі пошуку раціональної програми ведення поїзда по ділянці, найбільш перспективними є схеми та алгоритми оптимізації, що засновані на нелінійному програмуванні та векторній оптимізації.

2. На підставі сформульованих вимог сформована математична модель руху поїзда по ділянці, що враховує параметри певного поїзда. Аналітичний опис магнітних характеристик ТЕД елек-

трово́за в режимах тяги та рекуперативного гальмування, а також теплових характеристик, що входять в математичну модель, отримано шляхом застосування сплайн-інтерполяції.

4. Викладені елементи інтегрування рівняння руху, що дозволяють за допомогою комп'ютерної алгебри символічних обчислень одержувати в аналітичному вигляді залежність шляху від швидкості як у режимі тяги, так і в режимі гальмування при побудові кривих швидкості. Даний підхід інтегрування рівняння руху дозволяє проводити дослідження в замкненій математичній формі, значно скоротити час та підвищити точність обчислень.

5. Для побудови варіантів траєкторій руху, непорівнянних по Парето, запропоновано правило їх формування, що дозволило отримати залежності мінімальної роботи від часу руху поїзда по перегонах ділянки.

6. Для вибору раціональних режимів ведення поїзда по ділянці удосконалено метод визначення раціонального розподілу часу ходу поїзда по перегонах, що дозволило обрати раціональний варіант ведення поїзда по перегонах ділянки при заданому часі ходу.

7. Розроблено алгоритмічне та програмне забезпечення для апаратно-програмного комплексу з розрахунку та видачі індивідуальних режимних карт ведення поїзда, оптимізованих за мінімумом витрат енергоресурсів при заданому часі на переміщення вантажного поїзда по ділянці. Розроблено структуру та сформовано базу даних, внесені характеристики електровозів і устаткування системи енергопостачання, дані по електрифікованих ділянках Укрзалізниці, що дозволяє оперативно виконувати тягові розрахунки.

8. Результати проведених дослідних поїздок на ділянці Н.Д.-Вузол–Чапліно свідчать про те, що розраховані за запропонованою методикою витрати електроенергії відповідають реальним з похибкою не більш 3 %, а також, що при реалізації розроблених раціональних індивідуальних режимних карт економія питомої витрати електроенергії у порівнянні з режимами, що застосовуються досвідченими машиністами, становила від 4,4 до 12,8 %.

9. Проведено техніко-економічні розрахунки ефективності впровадження раціональних режимів ведення на базі апаратно-програмного комплексу, розрахунковий строк окупності склав десять місяців.

10. Результати роботи впроваджені в локомотивних депо Придніпровської та Львівської залізниць на ділянках обороту локомотивів приписного парку, а також у навчальний процес підготовки студентів Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна.

#### СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Боднарь Б. Е., Босов А. А., Бобырь Д. В. О несравнимых вариантах в задаче тяговых расчетов// 3б. наук. праць Дніпропетровського нац. ун-ту залізн. тр-ту. Транспорт. Випуск 12. – Дніпропе-



тровськ: ДПТ, 2006. – С. 57–59.

2. Бобырь Д. В. Распределение времен хода по перегонам при выборе рациональных режимов ведения грузового поезда // *Залізничний транспорт України*. – 2007. – № 1. – С. 64–66.
3. Боднар Б. Е., Бобырь Д. В., Ляшук В. М. Результаты испытаний устройства для организации оптимального ведения поезда машинистом // *Вісник Східноукр. нац. ун-ту ім. В. Даля*. – Луганськ, 2006, № 8 (102), ч. 2. – С. 18–23.
4. Бобырь Д. В. Исследование точности интегрирования уравнения движения поезда // *Зб. наук. праць КУЕТТу*. Серія: “Транспортні системи і технології”. Випуск 11. – К.: КУЕТТ, 2007. – С. 46–58.

### СПИСОК ДОДАТКОВИХ ПУБЛІКАЦІЙ

5. Федорец В. А., Бобырь Д. В. Методика определения оптимального веса поезда с учетом времени его формирования // *Улучшение конструкции и обслуживания подвижного состава железных дорог: Межвузовский сборник научных трудов*. – Днепропетровск: “Січ”, 1997. – С. 44–47.
6. Боднар Б. Є., Ляшук В. М., Бобырь Д. В. Автоматизована система для вимірювання параметрів ведення поїзда // *Проблемы и перспективы развития железнодорожного транспорта: Материалы 65 междунар. научн.-практ. конф. к 75-летию ДИИТа*. – Днепропетровск: ДИИТ, 2005. – С. 59.
7. Довбня Н. П., Бондаренко Л. Н., Бобырь Д. В. Одно уточнение к уравнению равновесия тележек тепловозов // *Materialy II miedzynarodowej naukowe-praktycznej konferencji “Wykształcenie i nauka bez granic” 19–27 grudnia 2005 r.* – Przemysł: Nauka i studia – Publishing house Education and Science s.r.o., 2005. – С. 31–33.
8. Босов А. А., Бобырь Д. В. Определение рационального распределения времени хода поезда по перегонам // *Проблемы и перспективы развития железнодорожного транспорта: Материалы LXVI междунар. научн.-практ. конф.* – Днепропетровск: ДИИТ, 2006. – С. 289.
9. Боднар Б. Е., Бобырь Д. В., Ляшук В. М., Иванов А. П. Программный комплекс по расчету энергооптимальных режимов ведения поездов // *Проблемы и перспективы развития железнодорожного транспорта: Материалы LXVI междунар. научн.-практ. конф.* – Днепропетровск: ДИИТ, 2006. – С. 48.
10. Довбня Н. П., Бондаренко Л. Н., Бобырь Д. В., Децюра А. Я. Влияние несовершенства пути, рельс и бандажа на сопротивление движению тепловоза // *Міжнародний науковий журнал: Проблеми трибології (Problems of Tribology)*. – Хмельницький: Хмельницький державний університет, 2006, № 4. – С. 96–98.

11. Комп'ютерна програма "Апаратно-програмний комплекс для розрахунку раціональних режимів ведення вантажного поїзда електровозом": А.с. 19779. Україна / Бобирь Д. В., Іванов О. П., Лящук В. М. Зареєстровано 03.03.2007 р. К.: ДДІВ, 2007.

#### АНОТАЦІЯ

Бобирь Д. В. Удосконалення режимів ведення вантажного поїзда з електричною тягою. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.22.07 – рухомий склад залізниць та тяга поїздів. – Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2007.

Дисертація присвячена удосконаленню режимів ведення вантажного поїзда з метою зниження витрати енергоресурсів на тягу поїздів.

У роботі проведений аналіз математичних моделей руху поїзда та методів оптимізації програм його ведення.

Викладено методику вирішення рівняння руху в явному вигляді, як залежності шляху від швидкості, в режимах тяги та гальмування, що дозволяє проводити дослідження в замкненій математичній формі, значно скоротити час та підвищити точність обчислень.

Удосконалено метод та розроблено алгоритм побудови множини траєкторій руху по перегону, непорівнянних по Парето, що покладено в основу розробки апаратно-програмного комплексу з розрахунку раціональних режимів ведення поїзда та видачі режимних карт.

Для формування раціональної програми ведення поїзда по ділянці за мінімумом витрат енергоресурсів та заданому часі руху удосконалено метод визначення раціонального розподілу часу ходу поїзда по перегонах, що дозволило обрати раціональний варіант ведення поїзда по перегонах ділянки при заданому часі ходу.

На основі наведених методів, розроблено алгоритмічне і програмне забезпечення для апаратно-програмного комплексу з розрахунку та видачі індивідуальних режимних карт ведення поїзда, що впроваджений в локомотивних депо Придніпровської та Львівської залізниць, та дозволяє знизити питомі витрати електроенергії на 4–8 %, що підтверджується актами, наведеними в дисертації.

*Ключові слова:* тягові розрахунки, математична модель, раціональні режими ведення, витрата електроенергії, апаратно-програмний комплекс.

#### АННОТАЦИЯ

Бобирь Д. В. Усовершенствование режимов ведения грузового поезда с электрической тягой. – Рукопись.

Диссертация на соискание научной 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. – Днепропетровск, 2007.

Диссертация посвящена усовершенствованию режимов ведения грузового поезда с целью снижения расхода энергоресурсов на тягу поездов.

В работе проведен анализ математических моделей движения поезда и методов оптимизации программ его ведения. Отмечено, что для решения задачи поиска рациональных режимов ведения поезда по участку наиболее перспективными являются схемы и алгоритмы оптимизации, основанные на нелинейном программировании, его модификациях и векторной оптимизации, а сравнение различных моделей поезда показывает, что наибольшую погрешность в расчете скорости и функционала эффективности управления допускает модель в виде материальной точки, а наилучшее совпадение дают дискретные модели в виде гибкой нерастяжимой нити с переменной погонной массой и схема “поезд – цепочка твердых тел”, однако эффективная реализация последней вызывает определенные вычислительные трудности.

С помощью сплайн-функций получено аналитическое описание магнитных характеристик ТЭД электровоза в режимах тяги и рекуперативного торможения, а также тепловых характеристик, входящих в математическую модель движения поезда.

Изложены элементы интегрирования уравнения движения с помощью символьных преобразований, позволяющие получать зависимость пути от скорости в аналитическом виде, как в режиме тяги, так и в режиме торможения при построении кривой скорости, обеспечивающей минимальное время движения по перегону, а также несравнимых (по Парето) вариантов тяговых расчетов. Данный подход интегрирования уравнения движения поезда предпочтителен, так как позволяет проводить исследование в замкнутой математической форме. Представлены результаты исследования точности интегрирования уравнения движения численными методами путем сравнения с точным решением.

Получил дальнейшее развитие метод формирования несравнимых (по Парето) вариантов тяговых расчетов в части правила построения множества траекторий движения, позволяющий получить зависимости минимальной работы на перемещение поезда от времени его хода по каждому перегону.

Для определения режима ведения поезда с минимальным расходом энергоресурсов при заданном времени движения по участку, предложен метод рационального распределения времени хода поезда по перегонам, позволяющий с использованием векторной оптимизации выбрать рациональный вариант ведения поезда по участку.

На основе представленных методов, разработано алгоритмическое и программное обеспечение для аппаратно-программного комплекса по расчету и выдаче индивидуальных режимных карт ведения поезда, который внедрен в локомотивных депо Приднепровской и Львовской железных дорог. Его использование позволяет снизить удельные расходы электроэнергии на 4–8 %, что подтверждено актами, приведенными в диссертации. Также результаты работы внедрены в учебном процессе при изучении дисциплин “Теория локомотивной тяги”, “Автоматизированные системы управления в локомотивном хозяйстве” и “Информационные технологии в локомотивном хозяйстве”.

*Ключевые слова:* тяговые расчеты, математическая модель, рациональные режимы ведения, расход электроэнергии, аппаратно-программный комплекс.

## SUMMARY

Bobyry' D. V. Improvement of the modes of conduct of freight train with electric traction. – Manuscript.

Dissertation paper for a graduate degree of candidate of technical sciences in speciality 05.22.07 – railway rolling stock and train traction. – Dnepropetrovsk National University of railway transport named after academician V. Lazaryan. – Dnepropetrovsk, 2007.

The dissertation is devoted to the improvement of modes of driving a freight train in order to reduce the expenditures of power resources for traction of trains.

The analysis of mathematical models of train motion and methods of optimisation of the programmes of driving a train has been performed in the thesis.

The technique of solving the equation of motion in exact form – as path vs. speed, in the modes of traction and braking has been described – that enables one to carry out the studies in the closed mathematical form, to reduce considerably the calculation times and to improve the related accuracy.

The method is improved and the algorithm is developed to construct a set of trajectories of motion on a given track side for Pareto's incomparable variants thus forming a basis for development of a hardware&software complex on calculating the rational regimes of driving a train and issuing the regime charts.

In order to form the rational programme of driving a train on a given section in the sense of the minimum value of power expenditures and the prescribed time period of motion, the method of determination of the rational distribution of passage times over track sides has been advanced that has allowed choosing the rational variant of driving a train on the track section sides with the fixed passage time.

On the basis of the methods presented the algorithmic provision and software have been developed for a hardware&software complex for calculating and issuing separate regime charts of driving a train; such a complex has been implemented at the locomotive depots of Prydniprov's'ka and Lviv's'ka Regional Railways and enables one to reduce the specific electric power consumption by 4–8 per cent; this fact is confirmed by the statement documents referred to in the dissertation work.

*Keywords:* traction calculations, mathematical model, rational modes of driving, expenditure of electric power, hardware&software complex.

БОБИРЬ ДМИТРО ВАЛЕРІЙОВИЧ

УДОСКОНАЛЕННЯ РЕЖИМІВ ВЕДЕННЯ ВАНТАЖНОГО  
ПОЇЗДА З ЕЛЕКТРИЧНОЮ ТЯГОЮ

Автореферат

дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

---

Підписано до друку “ 20 ” квітня 2007 р.

Формат паперу 60×48 1/16. Папір для розмножувальних апаратів. Різограф.

Ум. др. арк. 1,0. Обл.-вид. л. 1,0. Тираж 100.

Замовлення № \_\_\_\_\_

---

Видавництво Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені ака-  
деміка В. Лазаряна

*Адреса видавництва та дільниці оперативної поліграфії:*  
49010, Дніпропетровськ, вул. Акад. Лазаряна, 2.