

Міністерство транспорту України

Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту

Кириченко Ганна Іванівна

УДК 656.225

**ОПЕРАТИВНЕ РОЗПОДІЛЕННЯ ПОТОКІВ ПОРОЖНІХ ВАГОНІВ
НА ПОЛІГОНІ ДИРЕКЦІЇ ПЕРЕВЕЗЕНЬ**

05.22.20 – експлуатація та ремонт засобів транспорту

АВТОРЕФЕРАТ

**дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук**

м. Дніпропетровськ, 2002

Дисертацією є рукопис

Робота виконана в Дніпропетровському національному університеті залізничного транспорту Міністерства транспорту України.

Науковий керівник: кандидат технічних наук, професор **Муха Юрій Опанасович**, професор кафедри станцій та вузлів Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту.

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук, професор **Шафіт Євген Миронович**, професор кафедри електронних обчислювальних машин Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту.

кандидат технічних наук, доцент **Яновський Петро Олександрович**, завідувач кафедри організації перевезень і управління на транспорті Київського університету економіки і технологій транспорту.

Вчений секретар спеціалізованої вченої ради
доктор технічних наук, професор



Жуковицький І.В.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Технічний прогрес на залізничному транспорті визначається ефективністю використання вантажного вагонного парку та удосконаленням управління вагонопотоками. Однією з головних задач, передбачених програмою реструктуризації Укрзалізниці на 1998 – 2003 роки (п.п. 12.4, 19.8, 29.7), а також Наказом Укрзалізниці №583 – Ц від 29.10.2001 р. “Про заходи по впровадженню на залізничному транспорті України перспективних інформаційних технологій”, являється розвиток існуючих та розробка нових наукоємких інформаційних технологій управління вагонопотоками. Слід зазначити, що проблема управління вагонопотоками являє багатокритеріальну задачу, а для прийняття найбільш ефективних рішень необхідно обробляти дані про стан транспортної системи та процес перевезень при виконанні в умовах жорстких часових обмежень. Задача вибору оптимального варіанту оперативного впливу на систему висуває високі вимоги до технічних, інформаційних та математичних засад щодо організації управління процесом залізничних перевезень.

Разом з цим, підвищення якості обслуговування вантажовласників та скорочення експлуатаційних витрат можливо шляхом застосування та вдосконалення інформаційних технологій аналізу та прогнозування параметрів вагонопотоків з реалізацією оперативних оптимальних планів розподілення потоків порожніх вагонів по станціям навантаження. Упровадження програмно-інформаційних комплексів в системах оперативно-диспетчерського управління розподіленням вагонів на рівні дирекції перевезень дозволяє по-новому вирішувати клас технологічних задач, зв'язаних з оптимізацією режимів роботи станцій, які входять до складу дирекції, та задач щодо забезпечення високої якості надання транспортних послуг.

Вказані задачі в значній мірі можуть бути вирішені шляхом розробки математико-технологічних моделей та відповідних методів їх реалізації, які забезпечують оптимальне оперативне управління вагонопотоками на полігоні дирекції перевезень, що свідчить про актуальність теми дисертації.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Робота виконана відповідно до Програми реструктуризації Укрзалізниці на 1998 – 2003 рр., п.п. 12.4., 19.8., 29.7.; НДР ДПТУ 42.11.00.01 “Удосконалення алгоритму задачі ”Віднесення суми штрафів за прострочку в доставці вантажів на залізниці, що допустили затримку в їх просуванні ”, номер державної реєстрації № 0101 U002587, а також за планами комп'ютеризації ІСЦ Придніпровської залізниці на 2001, 2002 рр.

Мета і задачі дослідження. Метою дослідження є підвищення ефективності використання порожніх вантажних вагонів за допомогою створення інформаційно-управляючих систем оперативного розподілення вагонопотоків на полігоні дирекції перевезень. Для досягнення цього, необхідно розв'язати наступні наукові задачі:

1. Вивчення існуючих
2. Аналіз інформації
3. Транспорт
4. Інформація

виконати аналіз вагонопотоків, що надходять на полігон дирекції перевезень, з урахуванням їх добових та внутрішньо добових нерівномірностей; обґрунтувати та розробити систему математичних моделей для аналізу та прогнозування параметрів вагонопотоків; виконати дослідження задачі оперативного розподілення вагонопотоків при різних категоріях інформації, в тому числі з урахуванням стохастичних властивостей і необхідності корегування планів, а також враховуючи пріоритети станцій навантаження; розробити структуру, функції та створити інформаційно-управляючу систему, призначену для розв'язання задач оперативного оптимального розподілення потоків порожніх вагонів на полігоні Криворізької дирекції перевезень.

Об'єктом даного дослідження є процеси надходження вагонопотоків на полігон дирекції перевезень з урахуванням їх добових та внутрішньо добових нерівномірностей.

Предметом дослідження виступають інформаційно-управляючі системи оперативного оптимального розподілення потоків порожніх вагонів на полігоні дирекції перевезень.

Методи досліджень. Результати дисертації одержано за допомогою методів моніторингу процесів надходження порожніх вагонів з використанням інформаційної моделі процесу залізничних перевезень, методів аналізу та моделювання на основі часових рядів, моделей і методів теорії ймовірностей та математичної статистики, методів динамічного, лінійного, нелінійного та стохастичного програмування, а також методів векторної оптимізації.

Наукові новизна отриманих результатів.

Розроблені математичні моделі порожніх вагонопотоків, які надходять на полігон дирекції перевезень, у формі часових рядів, коли враховується їх добова та внутрішньодобова нерівномірність. Розроблено та реалізовано екстремальну задачу прогнозування внутрішньодобового розподілення вагонопотоків на підставі метода динамічного програмування. Вперше запропоновано удосконалення моделі оперативного розподілення вагонопотоку за рахунок розв'язання двоетапної задачі стохастичного програмування, в якій виконується корегування плану за показниками: скороченням простоїв маневрових локомотивів і бригад; скороченням витрат на утримання робочого парку вагонів. Урахування вимог пунктів навантаження щодо забезпечення потреби у вагонах подано у вигляді векторної моделі задачі оптимального планування.

Практичне значення одержаних результатів.

Запропоновані в роботі нові математико-технологічні моделі аналізу та прогнозування вагонопотоків на рівні полігону дирекції перевезень з реалізацією оперативних оптимальних планів розподілення потоків порожніх вагонів по станціям навантаження дозволяють більш повно урахувати умови роботи диспетчера-вагонорозподільовача і подати рекомендації щодо ефективних рішень. Розроблені технології та засоби реалізації оперативного оптимального розподілення потоків порожніх вагонів упроваджені в Криворізькій дирекції перевезень Придніпровської залізниці. Розроблені рекомендації щодо моделювання та

прогнозування вагонопотоків як часових рядів, а також методики оптимального розподілення вагонопотоків можуть бути використані і для інших дирекцій перевезень.

Особистий внесок здобувача. В статтях, опублікованих у фахових виданнях зі співавторами [5, 6], здобувачу належить наступне: – модель динамічного програмування для розрахунку внутрішньо добових нерівномірностей вагонопотоку, а також статистичний аналіз даних щодо властивостей нерівномірностей вагонопотоку [6]; – постановки двоетапної і векторної задач оптимального оперативного розподілення потоків порожніх вагонів [5].

Апробація результатів дисертації. Основні положення і результати дисертації доповідались, обговорювались та були схвалені на міжнародній науково-практичній конференції “Інформаційні технології на транспорті. Стан і напрямки розвитку”(м. Київ, 1998 р.); на міжнародних конференціях “Комп’ютерне моделювання”(м. Дніпродзержинськ, 2001р.); “Проблеми математичного моделювання” (м. Дніпродзержинськ, 2002 р.); на конференції “Проблеми економіки транспорту” (м. Дніпропетровськ, 2002 р.); на міжнародній науково-практичній конференції “Ринок послуг комплексних транспортних систем та прикладні проблеми логістики” (м. Київ, жовтень 2001 р.); на міжнародній спеціалізованій виставці <<ТРАНСПОРТ + ЛОГИСТИКА ‘99>> (м. Київ, жовтень 1999 р.); на нараді-семінарі з питань експлуатації, пономерного обліку та розрахунків за використання вантажних вагонів належності інших держав (м. Кривий Ріг, травень 1999 р.); на наукових семінарах кафедри залізничних станцій та вузлів ДІТУ (м. Дніпропетровськ, 1999 – 2002 рр.).

Публікації. За темою дисертації опубліковано 6 науково-технічних робіт в фахових виданнях, а також 6 робіт – в збірниках праць та тезах конференцій.

Структура і обсяг дисертації. Дисертація складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, містить 202 сторінки друкованого тексту, має 45 рисунків, 24 таблиці, список використаних літературних джерел зі 120 найменувань, має 5 додатків.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі дисертації обґрунтовано актуальність теми досліджень, встановлено сучасні напрямки розвитку систем управління вагонопотоками на залізничному транспорті, пов’язані з розробкою програмно-інформаційних комплексів в системах оперативно-диспетчерського управління розподіленням вагонів на рівні дирекції перевезень, які забезпечують підвищення якості обслуговування вантажовідправників і скорочення експлуатаційних витрат.

В першому розділі зроблено огляд літератури з питань аналізу проблеми управління вагонопотоками на залізничному транспорті. Розкрито наступні напрямки досліджень: основні задачі аналізу та оптимізації вагонопотоків, статистичні та динамічні моделі прогнозування, управління і розподілення потоків

вагонів, задачі оперативного прогнозування та розподілення вагонопотоків.

Задача створення інформаційно-управляючих систем оперативного розподілення вагонопотоків на полігоні дирекції перевезень являється складовою частиною задачі управління вагонопотоками як однієї з базових технологій організації перевезень залізничного транспорту. В розробку цієї задачі значний вклад внесли вчені: Акулінічев В.М., Балч В.І., Волков В.А., Голобурда В.Г., Диканюк М.М., Д'яков Ю.В., Кудрявцев В.А., Левін Д.Ю., Негрей В.Я., Правдін Н.В., Ратін Г.С., Угрюмов А.К., Тулупов Л.П., Шаров В.А., Ющенко М.Р. Для розв'язання задач щодо удосконалення систем оперативного управління вагонопотоками важливими є роботи Буянова В.О., Гусятинера О.М., Жуковського С.М., Петрова О.П., Попсуєва А.В., Смехова О.А., Тулупова Л.П., Харлановича І.В.

Важливими сучасними напрямками розвитку інформаційних систем розподілення вагонопотоків є дослідження проблеми нерівномірності вагонопотоків (добової та внутрішньодобової), а також урахування багатокритеріального, векторного, характеру задачі, що витікає з системи багатосторонніх і суперечливих вимог, які необхідно враховувати при плануванні роботи підприємств залізниць. Відмічено актуальність досліджень щодо створення інтелектуалізованих систем оперативного управління вагонопотоками з використанням персональних ЕОМ, які функціонують як системи підтримки прийняття рішень в реальному масштабі часу. Проведений аналіз літературних джерел показав актуальність робіт, спрямованих на створення інформаційно-управляючих систем, призначених для реалізації оперативного розподілення вагонопотоків на полігоні дирекції перевезень.

У другому розділі проведено дослідження властивостей вагонопотоків, які надходять на полігон Криворізької дирекції перевезень. В першій частині розділу проведено системно-структурний аналіз полігону дирекції перевезень як об'єкта управління і виділено особливості оперативно-диспетчерського управління процесами розподілення вагонопотоків, в другій – аналіз стохастичних властивостей вагонопотоків, в третій – виконано розробку математичних моделей, призначених для ефективного аналізу та прогнозування параметрів вагонопотоків.

У зв'язку зі складністю, стохастичністю та неможливістю оцінки впливу всіх факторів на процеси надходження вагонопотоків в роботі вони розглядаються з позицій моделі чорного ящика і представляються дискретними часовими рядами (ДЧР). Дослідження властивостей часових рядів, які відображають вагонопотік, виконано за методикою Бокса–Дженкінса засобами пакету програм "Statistica". ДЧР утворювалися як результат накопичування кількості порожніх вагонів за встановлений однаковий проміжок часу h , який дорівнював 3 год., початкова точка – 17 година. Тоді ДЧР є спостереження вагонопотоку в моменти t_1, t_2, \dots, t_N , позначені як $x(t) = x(t_1), x(t_2), \dots, x(t_N)$. Дослідження ДЧР вагонопотоку $x(t)$ дозволили встановити їх стохастичний характер, відсутність закономірності в даних спостережень, а кореляційний аналіз і перевірка $x(t)$ за допомогою статистичних

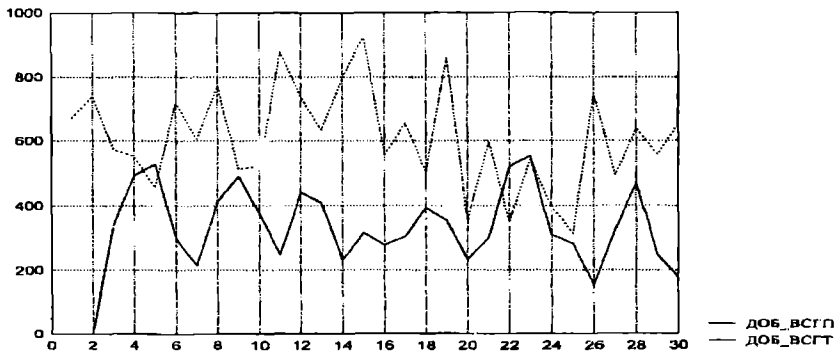


Рис. 1 Часові ряди добового надходження вагонів на ст. Тимкове і ст. П'ятихатки

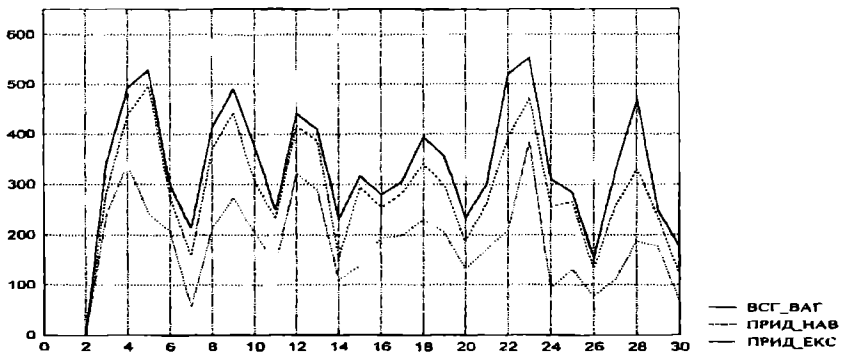


Рис. 2 Часові ряди добового надходження загальної кількості вагонів, кількості вагонів, придатних до навантаження і придатних для навантаження на експорт ст. П'ятихатки

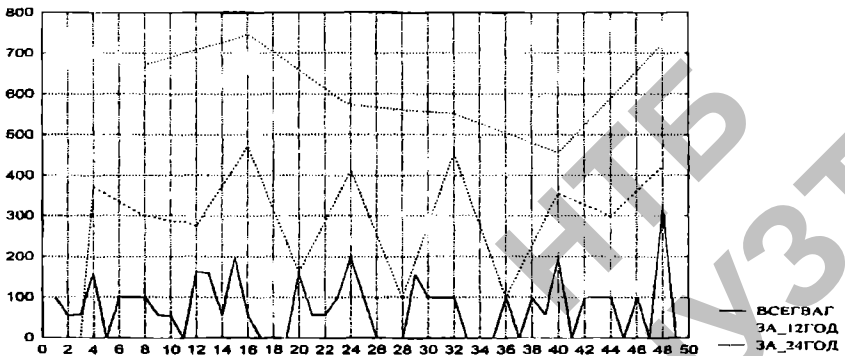


Рис. 3 Часові ряди загальної кількості вагонів, що надходили на ст. Тимкове з інтервалом 3, 12 і 24 години

критеріїв при заданому рівні значимості 5% показали, що ряд надходження вагонопотоку являється білим шумом. На рис.1 подано графік часового ряду для показника кількості порожніх вагонів, які надійшли на станцію Тимкове і П'ятихатки в період з 1 листопада 1998 р., а на рис. 2 – ДЧР добового надходження загальної кількості вагонів (ВСГ_ВАГ), вагонів, придатних під навантаження (ПРИД_НАВ), та придатних під навантаження на експорт (ПРИД_ЕКС). В табл. 1 наведено дані про статистичні закони розподілення параметру “Кількість вагонів, що надійшли” для станції П'ятихатки (подібний закон має місце і для стику Тимкове). Одержані закони розподілення $x(t)$ (табл. 1) показують, що в періоди від 20 до 11 год. головний вклад дають групи в кількості одного – двох составів при значній відносній частоті відсутності вагонів (більше 0,4). Від 14 год. статистичний характер законів розподілення змінюється, вони наближаються до нормального. Виконані широкомасштабні дослідження вагонопотоків підтвердили наведені вище закономірності.

Таблиця 1

Кількість вагонів що надійшли по стику П'ятихатки

$X_{i+x} \setminus T_i$	20	23	02	05	08	11	14	17
0	0,67	0,80	0,83	0,87	0,63	0,53	0,53	0,10
60±15	0,17	0,13	0,13	0,10	0,21	0,14	0,33	0,17
100±24	0,13	0,07	0,04	0,03	0,13	0,17	0,04	0,24
150±25	0,03				0,03	0,13	0,10	0,16
200±24						0,00		0,17
250±25						0,03		0,13
300±24								0,03

В табл. 2 представлені статистичні закони розподілення відносної кількості вагонів, які надійшли на протязі місяця (11. 1998 р.) для станцій Тимкове і П'ятихатки.

Таблиця 2

Закони розподілення для показника відносної кількості надходження вагонів

Станції\Години	20	23	2	5	8	11	14	17
Тимкове	0,07	0,03	0,07	0,11	0,09	0,12	0,13	0,38
П'ятихатки	0,09	0,05	0,04	0,03	0,10	0,16	0,12	0,41

Дані табл. 2 (та інших статистичних досліджень вагонопотоку) свідчать про нерівномірність надходження вагонів, значна частина яких (біля 0,4) спостерігається близько 17 год.

У зв'язку зі слабкою кореляцією членів ДЧР розв'язано задачу побудови статистичного фільтру, пропускання через який $x(t)$ ($X_j = x(t_j)$) дозволяє одержати нові послідовності U_k , які дають необхідну якість прогнозування параметрів вагонопотоку. Для фільтру-суматору об'єму N

$$U_k = \sum_{n=0}^N X_{k+n} \quad (1)$$

визначено частотні характеристики, а також прихований період часового ряду $x(t)$ вагонопотоків, який дорівнює $N=4$ (12 год.) і $N=8$ (24 год.). Діаграми згладжених рядів вагонопотоку представлено на рис. 3. Достатня "гладкість" часових рядів $U(t)$ дозволила шляхом розрахунку автокореляційних функцій рядів r_e і їх відповідних різниць ідентифікувати структуру і параметри стохастичних моделей для різних категорій порожніх вагонів. При цьому

$$r_e = \frac{1}{Dn} \sum_{k=1}^n (v_k - \bar{v})(v_{k+1} - \bar{v}), \quad (2)$$

де позначено: v – оцінки середнього значення; D – дисперсії, $l = 1, 2, \dots$, $v_k = \nabla^l u_k$, $d = 0, 1$ – різниці порядку d ; $\nabla u_k = u_k - u_{k-1}$.

Аналіз даних показав, що ДЧР вагонопотоку ($x(t)$, $U(t)$) представляє однорідний нестационарний процес, в якому перші різниці являються стаціонарними з нульовими середніми. Характер згасання вибірових автокореляційних функцій і часткових автокореляційних функцій перших різниць указав доцільність вибору структури математичної моделі ДЧР у вигляді змішаного процесу авторегресії проінтегрованого змінного середнього першого порядку – АР ПЗС (1,1,1):

$$(1 - \phi B)V_k = (1 - \theta B)a_k, \quad (3)$$

де $BV_k = V_{k-1}$ – оператор "зворотного зсуву"; ϕ, θ – числові параметри; a_k – незалежні імпульси з нульовим середнім і дисперсією δ_a^2 ; стандартна помилка автокореляцій і часткових автокореляцій дорівнювала $\delta \approx 1/\sqrt{30} \approx 0,183$. Математична модель ДЧР має вигляд

$$u_k = 0,574u_{k-1} + 0,426u_{k-2} + a_k - 0,361a_{k-1}. \quad (4)$$

Параметри ϕ і θ моделі (3) розраховувалися і уточнювалися за допомогою методу найменших квадратів з наступним статистичним аналізом залишкових помилок. При цьому математична модель (3) має вигляд:

$$(1 + 0,49B)\nabla u_k = (1 - 0,356B)a_k, \text{ або } u_k = 0,51u_{k-1} + 0,49u_{k-2} + a_k - 0,356a_{k-1}. \quad (5)$$

Аналогічні роботи були виконані для станції П'ятихатки, при цьому математична модель добового ДЧР вагонопотоку мала наступний вигляд

$$u_k = 1,07u_{k-1} + 0,6 u_{k-2} + a_k - 0,67u_{k-3}, \quad (6)$$

Адекватність моделей (5), (6) оцінювалась за допомогою сукупного критерію погодження.

Задача побудови математичної моделі для прогнозування внутрішньодобового надходження вагонів на полігон дирекції перевезень була представлена у екстремальному вигляді

$$F(u) = \prod_{i=1}^8 W_i \rightarrow \max_{(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7, x_8)}, \quad u = \sum_{j=1}^8 x_j, \quad (7)$$

в якому позначено: W_i – відносна частота в i -тий момент часу; x_i – число вагонів в i -тий момент часу; u – кількість надходження вагонів за добу. Для розв'язування задачі (7) використані рекурентні функціональні рівняння методу динамічного програмування (ДП). При розв'язанні рівнянь ДП також були використані гістограми, призначені для розрахунку прогнозованих параметрів загального вагонопотоку по стикових станціях на протязі доби.

Процедура побудови математичних моделей вагонопотоків виділених категорій (придатних для навантаження і для навантаження на експорт) ґрунтувалась на встановленні кореляційних зв'язків між указаними вагонопотоками. Для станції Тимкове рівняння регресії наступне:

$$y(t) = 0,877x(t). \quad (8)$$

Дослідження кореляційної залежності поміж загальним вагонопотоком і вагонами, придатними до навантаження на експорт, дозволили отримати рівняння:

$$r = 0,630; \quad z(t) = 0,26x(t), \quad (9)$$

модель вагонопотоку для вагонів, придатних до навантаження

$$y(t_k) = 0,934x(t_k); \quad (r=0.975); \quad (10)$$

модель вагонопотоку для вагонів, придатних до навантаження на експорт:

$$z(t_k) = 0,62x(t_k); \quad (r=0.871). \quad (11)$$

У третьому розділі побудовано систему математичних моделей та методів, призначених для розв'язання задачі оперативного оптимального розподілення потоків порожніх вагонів (ОРПВ), коли використовується різна інформованість про вагонопотоки та система вимог до плану. Враховуючи, що показник

вагонокілометрів порожнього пробігу являє неповну характеристику, яка відповідає потребам залізниць, а не вантажовідправників, задача ОРПВ представлена у вигляді багатокритеріальної транспортної задачі цілочисельного стохастичного програмування зі змінними $X = \{x_{ij}^u\}_{(m,n)}$ наступного вигляду:

$$F_{\Sigma}(X^*) \Rightarrow \min_{X \in D_X} F_{\Sigma}(X) = \sum_{i=1}^{m+1} \sum_{j=1}^{n+1} c_{ij} x_{ij}, \quad (12)$$

$$\bar{F}_n(X) = (F_k(X))_n \Rightarrow \underset{X \in D_X}{opt} \quad (13)$$

$$D_X = \{ g_i(X) = \sum_{j=1}^n x_{ij} = \tilde{a}_i(t, \theta_A); \quad i = 1, 2, \dots, m+1; \quad (14)$$

$$g_j(X) = \sum_{i=1}^m x_{ij} = \tilde{b}_j(t, \theta_B); \quad j = 1, 2, \dots, n+1; \quad X = \{x_{ij}^u \geq 0, \forall i \forall j\} \} \quad (15)$$

В (12) – (15) між станціями $B_{(n)} = \{B_1, \dots, B_n\}$ розподіляються вагони, що надходять через стикові пункти $A_{(m)} = \{A_1, \dots, A_m\}$, коли відома очікувана кількість вагонів $A_{(m)} - \{\tilde{a}_i(t, \theta_A)\}_m$, а також потреба станцій $B_{(n)} - \{\tilde{b}_j(t, \theta_B)\}_n$, значення яких залежать від випадкових факторів θ_A і θ_B ; відомі питомі витрати $C_{m \times n} = (c_{ij})_{m \times n}$ на перевезення із A_i до B_j ; план розподілення є детермінований цілочисельний вектор $X^* = \{x_{ij}^u\}_{(m,n)}$. Необхідно визначити X^* таким чином, щоб задовольнити потреби станцій та мінімізувати сумарні витрати на доставку вагонів $F_{\Sigma}(X^*)$, а також компромісно-оптимально задовольнити потреби $A_{(m)}$ в умовах дефіциту порожніх вагонів, коли $F_k(X, t) = \tilde{a}_k(t, \theta_A) - S_k(X, t)$ – компоненти вектора $\bar{F}_n(X)$ в період t , а $S_k(X, t)$ це сумарна кількість поданих на станцію B_k порожніх вагонів.

Узагальнена блок-схема алгоритму задачі оптимального розподілення вагонопотоку на полігоні дирекції перевезень представлена на рис. 4. Розроблений алгоритм ґрунтується на моделі транспортної задачі, а також включає евристичні елементи (вибір станції, використання прогнозних даних про якість вагонів, прийняття рішення, що відрізняється від X^*).

В роботі запропоновано двоетапну модель задачі стохастичного програмування, яка враховує потребу корегування оперативних планів розподілення вагонопотоку $X^*(t, \theta)$, розрахованих на підставі оцінок надходження вагонів $\tilde{a}^{(t)} = (\tilde{a}_1^{(t)}, \tilde{a}_2^{(t)}, \dots, \tilde{a}_m^{(t)})$. При цьому подано методику щодо обчислення цільової

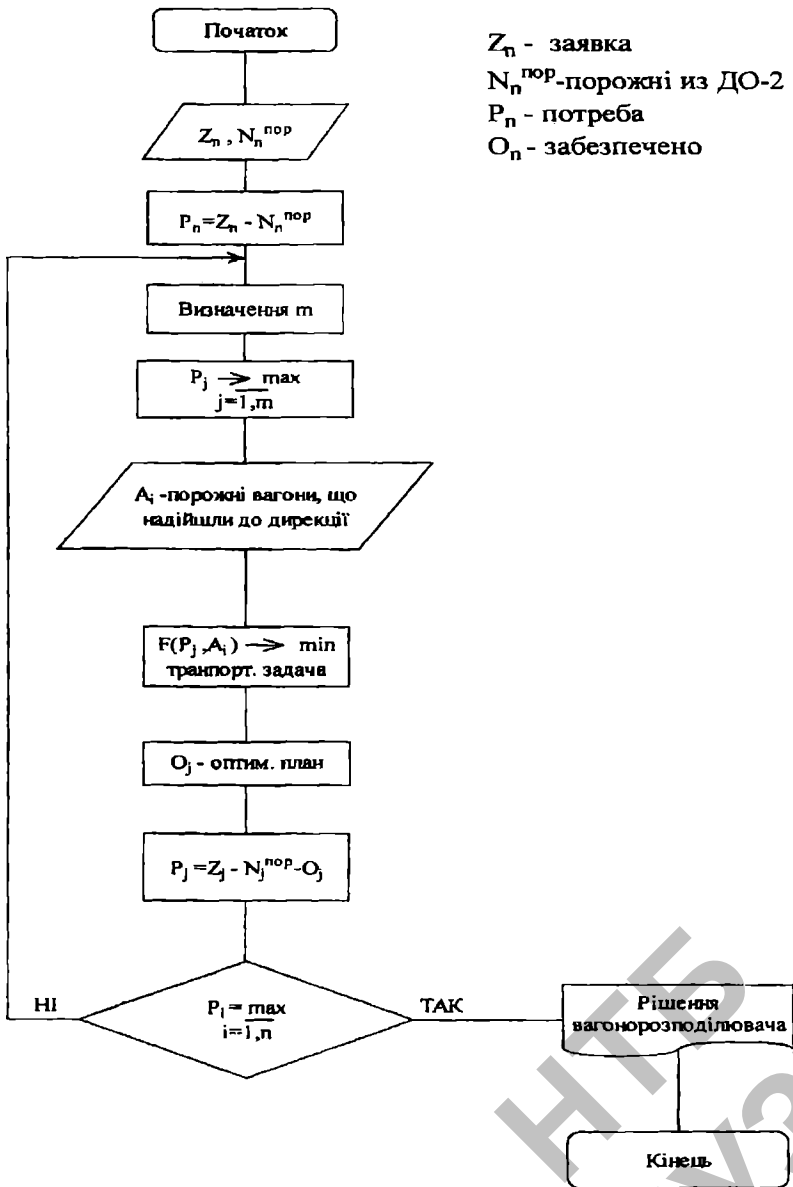


Рис. 4 Блок-схема алгоритму розв'язання задачі ОРПВ на полігоні дирекції перевезень

функції задачі, визначення випадкових станів $\theta_A = (\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_s)$ системи вагонорозподілення, вектора корегування $Y(X^{(t)}, \theta_A)$, який залежить від множини станів θ_A – умов реалізації плану $X^{(t)}$, розрахунку в системі АРМ ймовірностей станів $\{p(\theta_i)\}_s$. Запропоновано визначати ефект корегування планів двома показниками: – 1) скороченням простоїв маневрових локомотивів і бригад; – 2) скороченням витрат на утримання робочого парку вагонів та перерозподіл ресурсу навантаження на станціях з дефіцитом порожніх вагонів.

Стани θ_A двоетапної моделі визначаються діапазонами величин надходження $\tilde{a}_{k*}^{(t)}$

$$\theta_i = \langle [d_i^1, d_i^2], h_i(\theta_i), p(\theta_i) \rangle; \sum_i p(\theta_i) = 1, \quad (16)$$

де позначено: $h_i(\theta_i)$ – питомі оцінки додаткових витрат на корегування плану $X^{(t)}$ в умовах θ_i , $[d_i^1, d_i^2]$ – діапазон значень нев'язок $\tilde{a}_{k*}^{(t)}$, що відповідає стану θ_i , $p(\theta_i)$ – оцінки ймовірностей станів θ_i . Якщо витрати на реалізацію плану розподілення вагонопотоку $X^{(t)}$ і корегування $Y(X^{(t)}, \theta)$ позначити через

$$F_\Sigma(X^{(t)}) = \sum_{i=1}^{m+1} \sum_{j=1}^{n+1} c_{ij} x_{ij}^{(t)}, Y(X^{(t)}, \theta) = \sum_r d_r(X^{(t)}, \theta) Y_r, \quad (17)$$

тоді модель двоетапної задачі мінімізації очікуваних витрат на реалізацію плану $X^{(t)}$ та його оптимальне корегування приймає вигляд

$$\{\Psi(X) = CX + M[f_h(X^{(t)}, Y(X^{(t)}, \theta), \theta)]\} \Rightarrow \min_{X \in D_X}, \quad (18)$$

де C – матриця транспортної задачі, $f_h(*)$ – функція для оцінки витрат на корегування $Y(X^{(t)}, \theta)$, $M[*]$ – знак математичного сподівання.

Приклади розв'язання двоетапної задачі ОРГВ, наведені на рис. 5, свідчать про ефективність запропонованих методів планування. Показник “ефективність” рис. 5 представляє графік порівняльних витрат на реалізацію двоетапної задачі відносно одноступінної (початок періоду – 06.11.1998 р.). Аналіз дозволив встановити що середнє зниження витрат корегованого плану розподілення складає до 10%. На рис.5 показник забезпеченості станцій вагонами є частина виконаних у цей період заявок станцій навантаження.

Зважаючи на те, що показник мінімуму вагонокілометрів порожнього пробігу не враховує потреби вантажовідправників в умовах дефіциту вагонів, в роботі вперше запропоновано векторну модель задачі оперативного розподілення

вагонопотоку (ВОРПВ) з урахуванням пріоритетів стан цій навантаження. Представляючи потреби станцій частинними цільовими функціями $V_k(X)$, виконуючи нормування показників відповідно до рівнянь

$$\lambda_k(X) = (V_k^{(i)}(X) - V_{k \min}^{(i)}) / (V_{k \max}^{(i)} - V_{k \min}^{(i)}), \quad k \in \{1, \dots, n\}, \quad (19)$$

одержуємо векторну модель задачі ВОРПВ у вигляді

$$[\Phi((V_k)_n)] = \min_{k \in \{1, \dots, n\}} \{ \lambda_k(X) * (\gamma_k = v_k / \sum_{j \in n} v_j) \} \Rightarrow \max_{X \in G_X}. \quad (20)$$

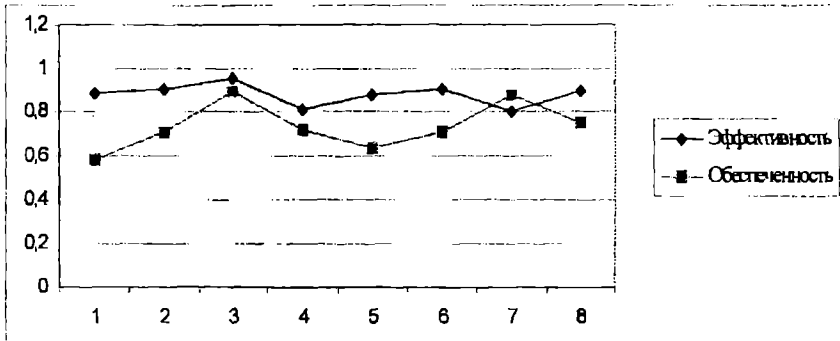


Рис. 5 Ефективність оптимізації розподілення порожніх вагонів на основі двоетапної моделі стохастичного програмування

У (19) – (20) позначено: $V_{k \min}^{(i)}$, $V_{k \max}^{(i)}$ – найменші та найбільші значення компонентів векторної функції цілі V на етапі “ i ”, а $v_k = \sigma_k / m_{v_k}$ – коефіцієнти варіацій (m_{v_k} – математичне сподівання, σ_k – стандартне відхилення). В роботі запропоновано інтерпретацію коефіцієнтів порівняльної важливості компонентів $V_k(X)$ задачі ВОРПВ – важливість дорівнює $\gamma_k = 1/v_k$, коли перевага віддається постійним замовникам. Вибір моделі компромісу часткових цілей відповідно (20) спирається на властивість задачі розподілення вагонопотоку, що відповідає умовам залежного ресурсу. В цьому разі модель (20) гарантує знаходження єдиного компромісно-оптимального розв’язку задачі ВОРПВ X^* , який відповідає умовам симетрії наступного вигляду $\forall k \quad V_k^{(i)}: \lambda_k(X^*) = \lambda_j(X^*), \quad \forall k, j \in n$.

На рис. 6 приведено графіки показників $\lambda(X^*)$ щодо розподілення порожніх вагонів для однокритеріальної (12) (а) і векторної (14) моделі (20), коли враховано всі складові вектору $\{S_k^{(i)}\}_n$: компромісно-оптимальний розв’язок забезпечує

рівномірне урахування заявок усіх станцій (його графік знаходиться над графіком однокритеріальної задачі (12)).

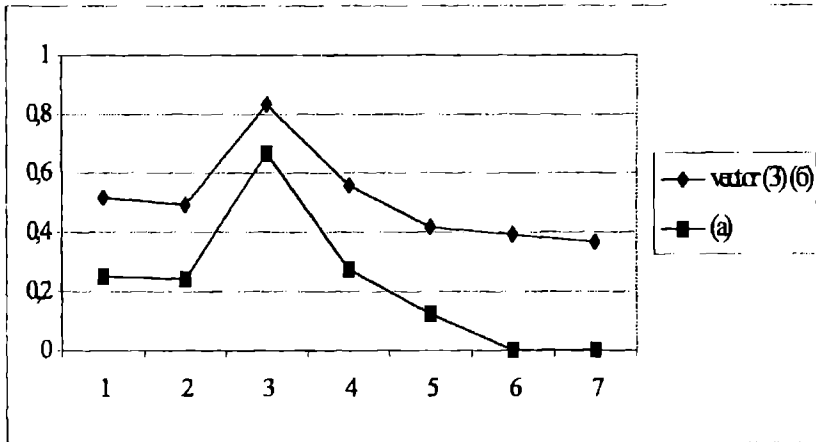


Рис. 6 Результати векторної оптимізації процесів розподілення потоків порожніх вагонів

В табл. 3 подано результати рішення задачі ВОРПВ за період з 06.11.98 р., а також відповідні за датами рішення одноцільових задач (12). Наведено дані про розподілення вагонів по трьох станціях. У першому стовпчику указано загальну кількість вагонів, що розподіляються, стовпці 3 – 5 представляють рішення ВОРПВ (20), а стовпці 6 – 8 є рішення задачі (12). В заключних стовпцях таблиці подано нормовані оцінки часткових цільових функцій $\lambda_k(X)$ (20), які характеризують ступінь урахування в рішеннях задачі кожної часткової цільової функції.

Таблиця 3

Порівняльний аналіз результатів векторної та одноцільової оптимізації

Всього	Дата	Ингу- лецъ	Тер- ни	Греко- вата	Ингу- лецъ	Тер- ни	Греко вата	Ріш. (20)	Ріш. (12)
415	06.11.98	199	59	157	203	123	89	0,518	0,251
418	07.11.98	201	56	161	219	115	84	0,449	0,238
676	08.11.98	300	120	256	374	160	142	0,835	0,667
478	09.11.98	199	65	214	251	132	95	0,558	0,275
406	10.11.98	57	119	230	186	101	119	0,415	0,127
339	11.11.98	0	80	259	156	91	92	0,395	0
275	12.11.98	161	114	0	124	86	65	0,369	0

Представлені результати свідчать про ефективність векторної моделі (20) при урахуванні потреб станцій навантаження.

У четвертому розділі представлено запропоновану в дисертаційній роботі автоматизовану інформаційно-управляючу систему оперативного оптимального розподілення вагонопотоку. Узагальнена схема надходження інформації до системи представлена на рис. 8, а склад основних задач, які розв'язуються в АРМ диспетчера-вагонорозподілювача, а також взаємозв'язки поміж ними – на рис. 7. Створений і запроваджений у дослідну експлуатацію у Криворізькій дирекції програмний комплекс враховує багаторівневість і різноманітність систем управління вагонопотоками, які функціонують в дискретному та безперервному, реальному вимірі часу. Використання створеної системи та методик оптимального планування суттєво підвищило обґрунтованість рішень щодо розподілення вагонопотоку на полігоні Криворізької дирекції перевезень.

ВИСНОВКИ

В дисертаційній роботі розв'язано задачу оперативного оптимального розподілення потоків порожніх вагонів на полігоні дирекції перевезень, призначену для підвищення ефективності використання порожніх вантажних вагонів. Для практичної реалізації поставленої задачі створено інформаційно-управляючу систему оперативного розподілення вагонопотоків. Виконані в дисертації дослідження дозволяють зробити наступні висновки та пропозиції.

1. Виконані в роботі широкомасштабні дослідження вагонопотоків, які надходять на полігон дирекції перевезень, дозволили визначити їх статистичну структуру (з урахуванням добової та внутрішньодобової нерівномірності, а також різних категорій порожніх вагонів: придатних для навантаження та придатних для навантаження на експорт). Встановлено, що статистична структура вагонопотоків, представлених часовими рядами, у 1998, 2001 роках, є сталою.

2. Обґрунтовано та побудовано удосконалені математичні моделі для аналізу та прогнозування параметрів вагонопотоків на основі даних часових рядів. Основною формою добових моделей надходження вагонопотоку для стикових станцій Тимкове та П'ятихатки Придніпровської залізниці являються моделі змішаної авторегресії проінтегрованого змінного середнього першого порядку АР ПЗС (1,1,1).

3. Виконано дослідження моделей задачі оперативного розподілення вагонопотоків на полігоні дирекції перевезень при різних категоріях вхідної інформації (з урахуванням її стохастичних властивостей та необхідності корегування плану, а також враховуючи пріоритети станцій навантаження). Вперше задача оперативного розподілення вагонопотоку була сформульована як двоетапна задача стохастичного програмування, а забезпечення вимог станцій навантаження при дефіциті порожніх вагонів представлено за допомогою векторної моделі оперативного оптимального планування. Показано, що двоетапна модель

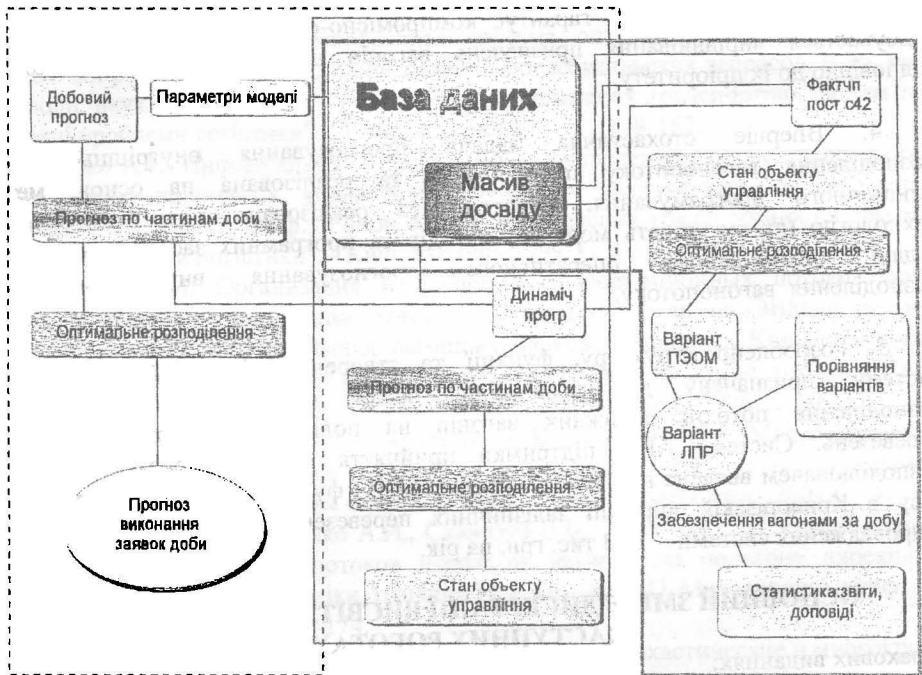


Рис.7 Схема логічної організації функціонування модулів в системі СУПРВ

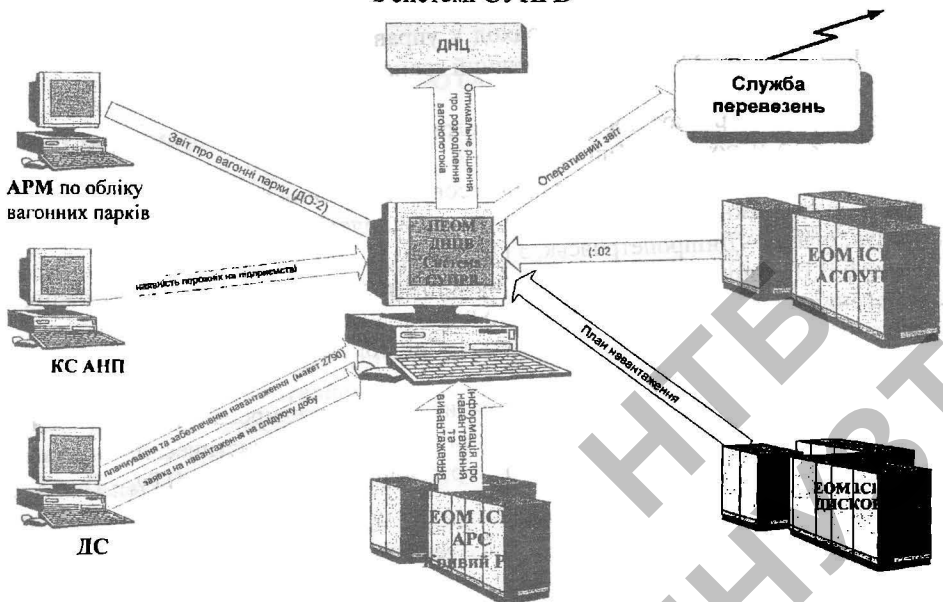


Рис.8 Схема надходження інформації в систему СУПРВ

планування дозволяє знизити експлуатаційні витрати до 10%. Векторна модель розподілення вагонопотоку гарантує компромісно-оптимальні розв'язки, в яких відбувається вирівнювання призначень вагонів на всі станції навантаження відповідно до їх пріоритету.

4. Вперше стохастична задача прогнозування внутрішньодобового розподілення вагонопотоку представлена та реалізована на основі методу динамічного програмування. Створено та реалізовано нову інформаційну технологію (як сукупність моделей, методів та програмних засобів) розв'язання задачі оптимального оперативного прогнозування внутрішньодобового розподілення вагонопотоку.

5. Розроблено структуру, функції та створено інформаційно-управляючу систему, призначену для розв'язання задачі оперативного оптимального розподілення потоків порожніх вагонів на полігоні Криворізької дирекції перевезень. Система АРМ підтримки прийняття рішень диспетчером-вагоно-розподільувачем введена в дослідну експлуатацію і функціонує в режимі реального часу в Криворізькій дирекції залізничних перевезень. Економічний ефект від запровадження системи 293 тис. грн. на рік.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ ДИСЕРТАЦІЇ ВИСВІТЛЕНО АВТОРОМ В НАСТУПНИХ РОБОТАХ.

В фахових виданнях:

1. Кириченко А.И. Автоматизированное составление отчетов о вагонном парке. // Залізничний транспорт України, 1999, №3. С. 6-8.
2. Кириченко А.И. Логистический подход к управлению грузопотоками на основе информационных технологий. // Залізничний транспорт України, 2000, №1. С. 10-12.
3. Кириченко А.И. Прогноз поступления вагонопотоков методом временных рядов. // Залізничний транспорт України, 2001, № 3. С. 18-20.
4. Кириченко А.И. Прогнозирование процессов поступления вагонопотоков на стыки железнодорожного полигона // Системні технології: регіональний міжвузівск. збірн. наук. праць, – Дніпропетровськ, 3 (14), 2001. С. 120 – 128.
5. Скалозуб В.В., Кириченко А.И. Векторная оптимизация процессов оперативного распределения порожних вагонов между пунктами погрузки // Системні технології: регіональний міжвузівск. збірн. наук. праць, – Дніпропетровськ, 5 (16), 2001. С. 110 – 116.
6. Кириченко А.И., Муха Ю.А. Математическое моделирование поступления порожних вагонопотоков по периодам суток, статистический анализ внутрисуточной неравномерности // Транспорт: Збірн. наук. праць ДДТУ, - Вип.8. – Дніпропетровськ, 2001. С. 66 – 73.

В додаткових виданнях:

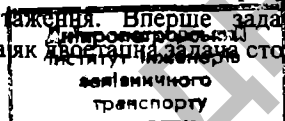
7. Кириченко А.И. Автоматизированная система оптимального распределения погрузочных ресурсов в процессе обеспечения потребительских запросов. // 36. пр. міжнародн. наук.-практ. конф. "Ринок послуг комплексних транспортних систем та прикладні проблеми логістики". - Київ, жовтень 2001. С. 148-152.
8. Кириченко А.И. Информационно-программное обеспечение как средство нового логистического подхода к управлению грузовыми перевозками. // Тез. доп. міжнародн. наук.-практ. конф. "Ринок послуг комплексних транспортних систем та прикладні проблеми логістики". - Київ, жовтень 1999. С. 47.
9. Кириченко А.И. Организация и обработка информационных потоков при автоматизированном составлении отчета о вагонных парках на ЭВМ с целью усовершенствования регулирования вагонных парков в условиях Криворожского отделения дороги. // 36. пр. міжнародн. науч. конф. "Інформаційні технології на транспорті. Стан та основні напрямки розвитку". - Київ, травень 1998. С. 60 - 62.
10. Скалозуб В.В., Бабакова О.В., Кириченко А.И., Хоменко И.Л. Моделирование нестационарных стохастических потоков в транспортных сетях. // Тез. міждерж. наук.-метод. конф. "Комп'ютерне моделювання". - Дніпродзержинск, 2001. С. 142.
11. Великодный В.В., Кириченко А.И., Скалозуб В.В., Цейтлин С.Ю. Оперативное оптимальное распределение потоков порожних вагонов на полигоне дирекции перевозок // Проблеми економіки транспорту / Тез. доп. П Міжнародної конф. - Дніпропетровськ. 2002. С. 173 - 174.
12. Скалозуб В.В., Кириченко А.И., Чередниченко М.С. Стохастические и многокритериальные задачи оптимального распределения потоков вагонов между пунктами погрузки // Тез. доп. Міждерж. наук.- метод. конф. Проблеми математичного моделювання. - Дніпродзержинськ, 2002. С. 125.

АНОТАЦІЇ

Кириченко Г.І. ОПЕРАТИВНЕ РОЗПОДІЛЕННЯ ПОТОКІВ ПОРОЖНІХ ВАГОНІВ НА ПОЛІГОНІ ДИРЕКЦІЇ ПЕРЕВЕЗЕНЬ. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук зі спеціальності 05.22.20 – експлуатація та ремонт засобів транспорту. Дніпропетровський Національний університет залізничного транспорту, м. Дніпропетровськ, 2002 р.

Розроблено комплекс математико-технологічних моделей, призначених для розв'язання задачі оперативного оптимального розподілення потоків порожніх вагонів на полігоні дирекції перевезень. Виконано експериментальні дослідження вагонопотоків з урахуванням їх добової та внутрішньодобової нерівномірності, обґрунтовано та розроблено систему удосконалених математичних моделей на базі часових рядів щодо аналізу та прогнозування параметрів вагонопотоків. Досліджено задачу оперативного розподілення вагонопотоків при різних категоріях інформації: з урахуванням стохастичних властивостей і необхідності корегування планів, з урахуванням пріоритетів станцій навантаження. Вперше задана оперативного розподілення вагонопотоку сформульована як дисертаційна задача стохастичного



програмування, а забезпечення вимог станцій навантаження представлено за допомогою векторної моделі оперативного оптимального планування. Показано, що двоетапна модель планування дозволяє знизити експлуатаційні витрати до 10%. Розроблено структуру, функції та створено інформаційно-управляючу систему оперативного оптимального розподілення потоків порожніх вагонів на полігоні Криворізької дирекції перевезень.

Ключові слова: управління вагонопотоками, часові ряди спостережень, моделі прогнозування, динамічне, лінійне та стохастичне програмування, векторна оптимізація, інформаційна система, оперативне планування розподілення.

Кириченко А.И. ОПЕРАТИВНОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПОТОКОВ ПОРОЖНИХ ВАГОНОВ НА ПОЛИГОНЕ ДИРЕКЦИИ ПЕРЕВОЗОК. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.22.20 – эксплуатация и ремонт средств транспорта.

Днепропетровский Национальный университет железнодорожного транспорта, г. Днепропетровск, 2002 г.

Разработан комплекс математико-технологических моделей, предназначенных для решения задачи оперативного оптимального распределения потоков порожних вагонов на полигоне дирекции перевозок. Выполнены экспериментальные исследования вагонопотоков с учетом суточной и внутрисуточной неравномерности, обосновано и разработано систему усовершенствованных математических моделей на основе использования временных рядов, предназначенных для анализа и прогнозирования параметров вагонопотоков. Задача внутрисуточного прогнозирования параметров вагонопотока представлена как распределительная задача динамического программирования.

Исследована задача оперативного распределения вагонопотоков при использовании различной исходной информации: с учетом стохастических свойств и необходимости корректировки разработанных планов, а также с учетом приоритетов станций погрузки. Впервые задача оперативного распределения вагонопотока сформулирована как двухэтапная задача стохастического программирования, а учет требований станций погрузки представлен в форме векторной модели задачи оперативного оптимального планирования. Эффект корректировки был сведен к экономии эксплуатационных расходов и оценивался двумя основными показателями: сокращением непроизводительных простоев маневровых локомотивов и бригад, сокращением затрат на содержание рабочего парка вагонов и перераспределение погрузочных ресурсов на станции с дефицитом вагонов. Векторная задача оптимизации распределения вагонопотока решена методом скаляризации на основе принципа максимина с учетом свойств компромиссной оптимальности и симметрии нормированных частных показателей – степени удовлетворения заявок станций погрузки. Приоритет частных целей вводится как обратная величина для коэффициента вариации суточной потребности станций погрузки, когда предпочтение отдается станциям со стабильным заказом.

В работе показано, что двухэтапная стохастическая модель задачи планирования позволяет снизить эксплуатационные расходы до 10%.

Разработана структура, функции и создана информационно-управляющая система оперативного оптимального распределения вагонопотока порожних вагонов, внедренная в опытную эксплуатацию на полигоне Криворожской дирекции перевозок.

Ключевые слова: управление вагонопотоками, временные ряды наблюдений, модели прогнозирования, динамическое, линейное и стохастическое программирование, векторная оптимизация, информационная система, оперативное планирование распределения.

Kirichenko A. I. OPERATIVE DISTRIBUTION OF EMPTY CAR FLOWS UNDER THE RANGE OF TRANSPORTATION DIRECTORATE. – Manuscript.

The dissertation for a technics candidate's degree in speciality 05.22.20 – operation and repair of transport means. Dnepropetrovsk National University of Railway Transport, Dnepropetrovsk, 2002.

A set of mathematical – technological models is developed to solve the task of operative optimal distribution of empty car flows under range of transportation directorate. Some experimental research of car flows is performed taking into account a day's and within the – day unevenness. The system of improved mathematical models is substantiated and developed on the basis of time series of analysis and forecast of car flow parameters. The task of operative distribution of car flows is researched at different categories of information: i) taking into account stochastic peculiarities and the necessity of plan corrections ii) taking into account priorities of forwarding stations.

For the first time the task of operative distribution of a car flow is formulate as a two stage task of a stochastic programming and realization of requirements of forwarding stations is presented by vector model of an operative optimal planning. It is shown that a two-stage model of planning allows a 10% reduction of operation costs. A structure and functions are developed and a system of information and control is created for operative optimal distribution of empty car flows under the area of the Krivoy Rog transportation directorate.

Key words: control of car flows, time series of observations, forecast models, dynamic, linear and stochastic programming, vector optimization, informative system, operative planning by distribution.

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

**ОПЕРАТИВНЕ РОЗПОДІЛЕННЯ ПОТОКІВ ПОРОЖНІХ ВАГОНІВ
НА ПОЛІГОНІ ДИРЕКЦІЇ ПЕРЕВЕЗЕНЬ**

Кириченко Ганна Іванівна

Підписано до друку 20.07 2002.

Формат 60×84 1/16. Папір для множних апаратів.

Ум. друк. арк. 1.0. Безкоштовно. Тираж 100 прим.

Дніпропетровський Національний університет залізничного транспорту.

Адреса університету та дільниці оперативної поліграфії ДНТУ:

49010, Дніпропетровськ, 10, вул. Акад. В.А. Лазаряна, 2.

Замовлення № 1053