

УДК 656.212

**ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ ЗАЛІЗНИЧНОГО ВУЗЛА ІЗ
ЗАСТОСУВАННЯМ СИСТЕМИ ДИСПЕТЧЕРСЬКОГО УПРАВЛІННЯ**

Канд. техн. наук П.В. Долгополов, Е.Л. Гаджиєв

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО УЗЛА С
ПРИМЕНЕНИЕМ СИСТЕМЫ ДИСПЕТЧЕРСКОГО УПРАВЛЕНИЯ**

Канд. техн. наук П.В. Долгополов, Е.Л. Гаджиев

**IMPROVING THE EFFICIENCY OF RAILWAY JUNCTION WORK WITH USING TRAIN
MANAGEMENT SYSTEM**

Cand. of techn. sciences P.V. Dolgoplov, E.L. Gadzhiev

Сформульовано задачу побудови інформаційно-керуючої системи диспетчерського управління припортового залізничного вузла та розроблено заходи з її вирішення за допомогою математичного апарату планетарних моделей. Впровадження даної системи дозволить підвищити ефективність роботи вузла за рахунок інтелектуалізації прийняття оперативних рішень і реалізації їх у перевізному процесі.

Ключові слова: система диспетчерського управління, залізничний вузол, поїзний диспетчер, планетарні моделі, інтелектуалізація оперативних рішень, перевізний процес.

Сформулирована задача построения информационно-управляющей системы диспетчерского управления припортового железнодорожного узла и разработаны меры по ее решению с помощью математического аппарата планетарных моделей. Внедрение данной системы позволит повысить эффективность работы узла за счет интеллектуализации принятия оперативных решений и реализации их в перевозочном процессе.

Ключевые слова: система диспетчерского управления, железнодорожный узел, поездной диспетчер, планетарные модели, интеллектуализация оперативных решений, перевозочный процесс.

Is formulated the problem of building train management system of railway junction, and measures for its solution with using the mathematical apparatus of planetary models.

Is proposed some new functions of the train management system:

- direct management of traffic on some of the intermediate stations;
- calculation and display of the plan of trains creation, taking into account the location of the locomotives;
- calculating and displaying the optimal forecast of the routes of the trains in the timetable, taking into account of the characteristics of each train;
- predictive control movement of trains at some stations on the basis of prediction schedule.

The implementation of this system will improve the efficiency work of railway junction due to intellectualization operational decisions and to realization them in the train planning process.

Keywords: train management system, railway junction, train traffic manager, planetary models, intellectualization of operational decisions, train planning process.

Вступ. В умовах сучасності залізничний транспорт багатьох держав успішно розвивається тільки завдяки його функціонуванню як однієї з ланок міжнародних транспортних коридорів. Завдяки вдалому географічному положенню на межі двох континентів залізниці Азербайджана виконують роль транзитного перевізника вантажів у рамках транспортного коридору «Європа-Азія».

Основним полігоном залізниць Азербайджана є Бакінський залізничний вузол, у якому переробляється значний обсяг вантажів. Специфіка технології його роботи полягає у масовому розподіленні порожніх вагонів і навантаженні сирової нафти і нафтопродуктів, а також в обслуговуванні морського порту, промислових підприємств та автотранспортних компаній.

Підрозділи залізничного вузла повинні функціонувати як єдиний механізм, проте цьому перешкоджають їх знаходження на значній відстані один від одного, розгалуженість ліній, різноманітність вантажів і різноплановість операцій з ними. Для організації раціональної та безперебійної роботи базового вузла необхідним є створення єдиної системи диспетчерського управління всіма ланками транспортного технологічного процесу [1, 2, 3, 4].

Постановка задачі дослідження. У роботі поставлено актуальну задачу побудови інформаційно-керуючої системи диспетчерського управління перевізним процесом залізничного вузла.

У результаті аналізу технологічного процесу роботи залізничного вузла зроблено висновок про основні наслідки прийняття неякісних рішень оперативним персоналом, що стає причиною затримок і призводить до появи експлуатаційних витрат E . Взявши за мету скорочення витрат E , сформовано таку цільову функцію:

$$f(E_{yz}) = E_{exc} + E_{och}^{nl} + E_{npx} + E_{znc} \rightarrow \min,$$

де E_{exc} – витрати на затримки поїздів на вхідних світлофорах станцій, грн;

E_{och}^{nl} – витрати на простої сформованих составів при очікуванні поїзного локомотива, грн;

E_{npx} – витрати на затримки при перехрещенні маршрутів руху поїздів на перегонах залізничного вузла та на станціях при рівнозначних маршрутах, грн;

E_{znc} – витрати на затримки поїздів на проміжних станціях через порушення ГРП, грн.

Основна частина дослідження. Цільова функція, що представлена у неявному вигляді, потребує дослідження природи виникнення факторів, що входять до неї, а також визначення обмежень щодо значень, якими вони можуть характеризуватися.

При цьому

$$E_{exc} = E_z + E_{cm}^{exc} + E_p, \quad (1)$$

де E_z, E_p – енергетичні витрати відповідно при гальмуванні та розгоні поїзда, грн;

E_{cm}^{exc} – експлуатаційні витрати на стоянку поїзда перед вхідним світлофором, грн.

Методику визначення E_{exc} наведено у роботі [5].

Експлуатаційні витрати E_{och}^{nl} на простої составів через затримки у їх забезпеченні поїзними локомотивами розраховано за виразом

$$E_{och}^{nl} = \frac{12 \cdot \psi_{nl}^2 \cdot (\lambda_{TO}^2 + \lambda_{nl}^2)}{N_{вант} \cdot (1 - \psi_{nl})} \cdot m \cdot e_{вз}, \quad (2)$$

де ψ_{nl} – коефіцієнт завантаження поїзних локомотивів у період їхнього перебування на станції;

$\lambda_{TO}, \lambda_{nl}$ – інтенсивності відповідно технічного обслуговування составів і готовності поїзних локомотивів до подавання під поїзди;

$N_{вант}$ – кількість вантажних поїздів, що відправляються зі станції.

Величину надмірних витрат E_{npx} через затримки при перехрещенні маршрутів руху поїздів на лініях залізничного вузла та на станціях при рівнозначних маршрутах (коли

черговість пропускання для кожного конкретного випадку визначають ДНЦ або ДСЦС (ДСЦ)) визначено як

$$E_{npx} = \left(t_1 \cdot s_1^{npx} + t_2 \cdot s_2^{npx} - \frac{n_1 \cdot n_2 \cdot (t_1^2 + t_2^2)}{2 \cdot 1440} \right) \cdot \left(\frac{m_1 \cdot e_{\text{вг}} + m_2 \cdot e_{\text{вг}}}{m_1 + m_2} + e_{\text{лг}} \right), \quad (3)$$

де t_1, t_2 – середня тривалість затримки при перехрещенні відповідних маршрутів руху, год;

s_1^{npx}, s_2^{npx} – кількість затримок поїздів відповідно першого та другого маршрутів, шт.;

n_1, n_2 – розміри руху по відповідних маршрутах за добу, поїзди;

m_1, m_2 – кількість вагонів у поїздах і складах відповідних маршрутів, ваг [6].

У результаті затримок при відправленні поїздів з технічної станції виникають затримки поїздів на проміжних станціях через порушення графіка руху, для яких витрати $E_{зпс}$ визначено за виразом

$$E_{зпс} = E_z + E_{cm} + E_p, \quad (4)$$

де E_{cm} – експлуатаційні витрати на стоянку поїзда на проміжній станції, грн.

Тоді

$$E_{cm} = t_{cm} \cdot (m \cdot e_{\text{вг}} + e_{\text{лг}}), \quad (5)$$

де t_{cm} – середня тривалість стоянки на проміжній станції, год.

Система обмежень для цільової функції (1) має вигляд

$$s_{nps}'' = \frac{t_x \cdot N_{nac} \cdot (1 - \delta' \cdot \beta_y) \cdot (1 - \alpha_n)}{24 - t_{обг} \cdot N_{nac} \cdot (1 - \delta' \cdot \beta_y) \cdot (1 - \alpha_n)}, \quad (7)$$

де t_x – чистий час руху вантажного поїзда по дільниці, год;

N_{nac} – кількість пасажирських і приміських поїздів на дільниці за добу, поїздів;

$$\left\{ \begin{array}{l} 0 \leq \psi_{nl} \leq 1 \\ 0 \leq \lambda_{TO} \leq \frac{n_{no}}{t_{TO}} \\ 0 \leq \lambda_{nl} \leq \frac{n_{рем}}{t_{TO}^{лок}} + \frac{n_{ек}}{t_{ек}^{лок}} \\ 0 \leq s_1^{npx} \leq N_1 \\ 0 \leq s_2^{npx} \leq N_2 \end{array} \right., \quad (6)$$

де n_{no} – кількість колій у парках відправлення, шт.;

t_{TO} – тривалість технічного огляду состава, год;

$n_{рем}, n_{ек}$ – кількість відповідно ремонтних колій у локомотивному депо, на яких здійснюються певні види ремонту та екіпірувальних колій, шт.;

$t_{TO}^{лок}, t_{ек}^{лок}$ – тривалість відповідно ремонту, та екіпірування одного локомотива, год;

N_1, N_2 – кількість поїздів за добу, що прямують відповідно з 1-го та 2-го напрямків.

Кількість зупинок для обгону s_{nps} , що припадає на один вантажний поїзд, на двоколінійній лінії визначено як

δ' – співвідношення швидкостей вантажних і пасажирських поїздів, $\delta' = 0,75$;

β_y – коефіцієнт дільничної швидкості;

α_n – частка інтервалів між вантажними та пасажирськими поїздами, що прямують у пакеті (тобто якщо між ними не можна пропустити будь-який поїзд);

$t_{обг}$ – середня тривалість простою поїзда під обгоном, год [6],

$$t_{обг} = I_{від} + I_{пр} + \gamma_{\epsilon} \cdot \left(0,5 \cdot t_{\epsilon} \cdot (1 - \delta') + \frac{\alpha_n \cdot I_n^{nac}}{1 - \alpha_n} \right) + t_p + t_y, \quad (8)$$

де $I_{від}, I_{пр}$ – інтервали відповідно прибуття пасажирського поїзда за вантажним та відправлення вантажного за пасажирським, год;

I_n^{nac} – середній інтервал між пасажирськими поїздами, що прямують у пакеті, год,

γ_{ϵ} – коефіцієнт використання пропускної спроможності для вантажного руху,

$$\gamma_{\epsilon} = \frac{N_{\epsilon}}{n_{\epsilon}}, \quad (9)$$

де t_p, t_y – час, що додано відповідно на розгін та уповільнення вантажного поїзда, год.

У залізничних вузлах структура оперативних зв'язків має ієрархічний характер. Тому при дослідженнях застосовано математичний апарат планетарних моделей, у яких сукупність орбіт та взаємозв'язок між ними дозволяють відобразити ієрархічну структуру інформаційних зв'язків між АРМ (див. рисунок) [7].

На основі досліджень технології роботи залізничних вузлів побудовано граф планетарної моделі оперативних інформаційних зв'язків для залізничного вузла $G_I = (V_I, E_I)$, де V – множина вершин (АРМ працівників), E – множина направлених дуг (каналів передачі інформації), який показано на рисунку.

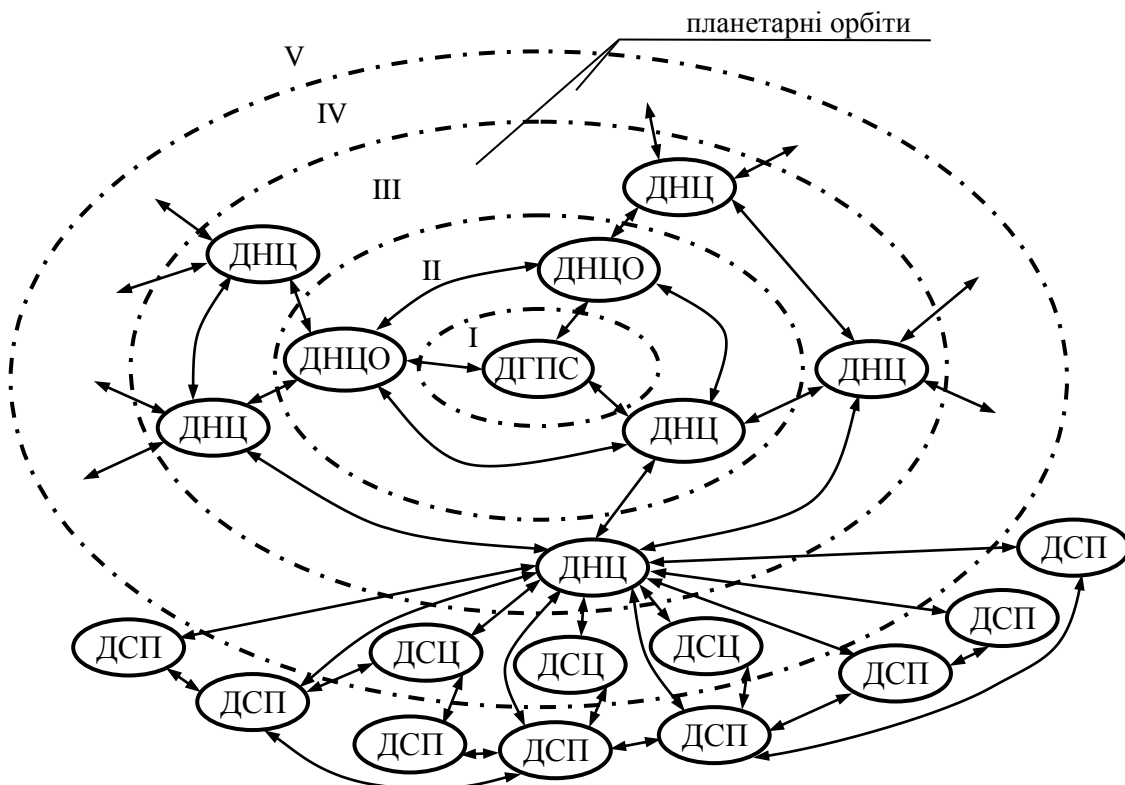


Рис. Граф планетарної моделі оперативної роботи залізничного вузла

Даний граф має такі вершини:
 ДНЦО – черговий по регіону залізниці;
 ДГПС – старший дорожний диспетчер;
 ДНЦ – поїзний диспетчер;
 ДСЦ – маневровий диспетчер;
 ДСП – черговий по станції.

Розподілення вершин графа $G_l = (V_l, E_l)$ по орбітах і надання орбітам пріоритетів здійснено відповідно до існуючого порядку передачі управлінських оперативних рішень і службової інформації.

Важливою властивістю кожної вершин графа системи АРМ є її стійкість p_ψ , яка являє собою ймовірність стабільної роботи вершини з виконання властивих функцій без додаткових управлінських втручань, які не передбачено технологією функціонування планетарної мережі.

При дослідженнях прийнято, що при $p_\psi \leq 0,9$ вершина є нестійкою, що виражається, насамперед, тим, що відповідальний працівник не встигає передавати оперативні розпорядження та виконувати інші обов'язки згідно з нормативними актами та регламентами. Це призводить до затримок у перевізному процесі та погіршує рівень його безпеки.

Тоді, відповідно, стійкість деякої вершини V_ψ планетарної моделі становить

$$p_\psi = \prod_{i=1}^u (1 - \bar{p}_i^{36H}{}_\psi) \cdot \prod_{l=1}^s (1 - \bar{p}_l^{6H}{}_\psi), \quad (10)$$

де $\bar{p}_i^{36H}{}_\psi$ – ймовірність появи i -го зовнішнього фактора;

u – кількість зовнішніх факторів, що досліджено;

$\bar{p}_l^{6H}{}_\psi$ – ймовірність появи l -го внутрішнього фактора;

s – кількість внутрішніх факторів, що досліджено [7].

Для визначення функцій розподілення коефіцієнтів стійкості $p_\psi^{36H}(t)$ для окремих вершин моделі проведено статистичні спостереження впродовж 2013 року, у яких зібрано дані про кількість повністю (тобто якісно) виконаних завдань суміжними

вершинами відносно до загальної кількості завдань, а також про розподілення ступенів виконання завдань з відносною мірою виконання окремими вершинами планетарної мережі управління.

Коефіцієнт виконання $q_i^{-\psi}$ будь-якої події з відносною мірою виконання вершиною V_ψ є неперервною випадковою величиною ($q_i^{-\psi} = 0 \dots 1$), яка вказує, у якій мірі та з якою затримкою надійшла вихідна подія від вершини V_ψ . Якщо вихідну подію виконано повністю та у визначений термін, то $q_j^{-\psi} = 1$. Якщо ж вихідну подію не виконано впродовж критичного часу $t_{кр}^{q_j \rightarrow 0}$, причому

$$t_{кр}^{q_j \rightarrow 0} = t_{оч}^{\beta_j} + t_{зах}^{\beta_j} + t_{від}^{\beta_j}, \quad (11)$$

де $t_{оч}^{\beta_j}$ – тривалість припустимого очікування вхідної події від вершини V_ψ суміжною вершиною V_j^ψ , для якого було адресовано вихідну подію;

$t_{зах}^{\beta_j}$ – тривалість з'ясування працівником (підрозділом), якому відповідає вершина V_j^ψ , причини невиконання завдання вершиною V_ψ та прийняття заходів з отримання завдання з будь-яким ступенем виконання (якщо це припустимо) від вершини V_ψ ;

$t_{від}^{\beta_j}$ – час, що потрібно на відтворення завдання вершиною V_j^ψ ,

тоді $q_i^{-\psi} = 0$.

Враховуючи значення витрат E для кожного конкретного випадку здійснення сукупної вихідної, зроблено висновок, що коефіцієнт виконання $q_i^{-\psi}$ будь-якої i -ї сукупної вихідної події вершиною V_ψ має деяку залежність $q_i^{-\psi} = f(E)$.

На основі планетарної моделі оперативних інформаційних зв'язків залізничного вузла попередньо визначено, що у періоди доби з найбільшою інтенсивністю перевізного процесу стійкість роботи вершин

"ДНЦ", "ДСЦ" та "ДСП" різко знижується, знаходячись на рівні $p_{\psi} = 0,82 \dots 0,91$.

Відповідно до цього запропоновано такі заходи щодо інтелектуалізації функцій відповідних АРМ АРМ ДНЦ [8,9,10]:

- відображення поїзного положення у вузлі у вигляді диспетчерського контролю;

- безпосереднє управління рухом поїздів на деяких проміжних станціях і роз'їздах;

- розрахунок і відображення плану поїздоутворення, у тому числі у передатному русі, з урахуванням дислокації локомотивів;

- розрахунок і відображення оптимальних прогнозних ниток проходження поїздів на графіку руху на основі плану поїздоутворення та з урахуванням характеристик кожного поїзда;

- прогнозне управління рухом поїздів на деяких станціях і роз'їздах на основі прогнозного графіка руху поїздів.

Висновки з дослідження і перспективи.

У роботі за допомогою розробленої планетарної моделі оперативної роботи

залізничного вузла оцінено вплив технологічних факторів на стійкість роботи таких вершин графа, як "ДНЦ", "ДСЦ" та "ДСП". При зростанні інтенсивності роботи у певні періоди доби стійкість даних вершин знижується до значень менше критичного рівня $p_{\psi} < 0,9$. Це вказує на те, що у базовому вузлі є перевищення експлуатаційних витрат через те, що комплекс функціональних задач існуючих інформаційних систем не дозволяє охопити інтелектуалізацією прийняття рішень всю множину основних технологічних задач перевізного процесу.

Таким чином, відповідні нові функції та побудова сучасної інтелектуальної системи диспетчерського управління залізничного вузла дозволить виконувати низку не тільки рутинних, але й інтелектуальних функцій у режимі on-line. Це дозволить підвищити ефективність роботи вузла за рахунок інтелектуалізації прийняття оперативних рішень і реалізації їх у перевізному процесі.

Список використаних джерел

1. Проектирование информационных систем на железнодорожном транспорте [Текст]: учеб. для вузов ж.-д. трансп. / Э.К. Лецкий, З.А. Крепкая, И.В. Маркова и др.; под ред. Э.К. Лецкого. – М.: Маршрут, 2003. – 408 с.
2. Грунтов, П.С. Управление эксплуатационной работой и качеством перевозок на железнодорожном транспорте [Текст]: учеб. для вузов ж.-д. трансп. / П.С. Грунтов, А.М. Макаровичин, В.Г. Шубко; под общ. ред. П.С. Грунтова. – М.: Транспорт, 1994. – 543 с.
3. Інформаційні системи та технології при управлінні залізничними перевезеннями [Текст]: навч. посібник / О.В. Лаврухін, П.В. Долгополов, В.В. Петрушов, О.М. Ходаківський. – Харків: УкрДАЗТ, 2010. – 122 с.
4. Ульяницкий, Е.М. Информационные системы взаимодействия видов транспорта [Текст]: учеб. пособие для вузов ж.-д. трансп. / Е.М. Ульяницкий, А.И. Филоненков, Д.А. Ломаш. – М.: Маршрут, 2005. – 264 с.
5. Долгополов, П.В. Удосконалення експлуатаційної роботи станцій шляхом побудови інтерактивного АРМ чергового по станції [Текст] / П.В. Долгополов, О.А. Скоробогатов, Д.В. Корольов // Зб. наук. праць. – Донецьк: ДонІЗТ, 2006. – Вип. 8. – С. 36–44.
6. Сотников, И.Б. Техничко-экономические расчеты в эксплуатации железных дорог (в примерах и задачах) [Текст] / И.Б. Сотников. – М.: Транспорт, 1983. – 254 с.
7. Сай, В.М. Планетарные структуры управления на железнодорожном транспорте [Текст]: монография / В.М. Сай. – М.: ВИНТИ РАН, 2003. – 336 с.
8. Долгополов, П.В. Розробка функціональних задач залізничних систем диспетчерського управління із застосуванням теорії розкладів [Текст] / П.В. Долгополов, Ю.В. Алтухова, Д.В. Черепков // Зб. наукових праць. – Харків: УкрДАЗТ, 2013. – Вип. 140. – С. 96–102.
9. Левин, Д.Ю. Инновационные информационные технологии в управлении перевозочным процессом [Текст] / Д.Ю. Левин, А.М. Аветякин // Железнодорожный транспорт. – 2009. – № 10. – С. 36–39.

Організація перевезень і управління на транспорті

10. Данько, М.І. Мікропроцесорна диспетчерська централізація «Каскад» [Текст]: навч. посібник / М.І. Данько. – Харків: УкрДАЗТ, 2005. – 176 с.

Рецензент д-р техн. наук, доцент О.В. Лаврухін

Долгополов Петро Віталійович, канд. техн. наук, доцент, кафедра управління експлуатаційною роботою, Українська державна академія залізничного транспорту. Тел. 730-10-88 pit2013@mail.ru

Dolgoplov Peter, PhD, Cand. of techn. sciences, docent, Office of management of operational work, Ukrainian State Academy of Railway Transport. Tel. 730-10-88 pit2013@mail.ru