УДК 656.223.2

Віктор Мироненко
Вячеслав Мацюк

ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНОГО МІСЦЯ КОНЦЕНТРАЦІЇ ТЕХНІЧНОЇ ПЕРЕРОБКИ МІСЦЕВОГО ВАГОНОПОТОКУ В РОЗВИНЕНИХ ЗАЛІЗНИЧНИХ ВУЗЛАХ ЗА КРИТЕРІЄМ МІНІМІЗАЦІЇ ЧАСУ

В статті представлена математична модель визначення оптимального місця концентрації технічної переробки вхідного та вихідного місцевого вагонопотоку в розвинених залізничних вузлах. Критерієм оптимізації обрано час знаходження вагонів у вузлі (мінімізація показника).

В статье представлена математическая модель определения оптимального места концентрации технической переработки входного и выходного местного вагонопотока в развитых железнодорожных узлах. Критерием оптимизации выбрано время нахождения вагонов в узле (минимизация показателя).

The article deals with the mathematical model of optimum points of a local traffic flow technical processing concentration in large developed railway junctions. The intrajunction time staying of wagons (minimization) has been chosen as a criterion of optimization.

Ключові слова: місцева робота в залізничних вузлах, час знаходження місцевих вагонів у вузлах, концентрація технічної переробки місцевого вагонопотоку, критерій мінімізації часу.

Відповідно до сучасних принципів організації розвозу місцевих вагонів у розвинених залізничних вузлах місцеві вагони приймаються спочатку на сортувальну (технічну) станцію вузла. Це пов’язано із тим, що розташування вагонів у складах поїздів, які прибувають до вузла, неупорядковане, тому на вхідних сортувальних станціях місцеві вагони проходять такий самий комплекс операцій та процедур, що й транзитні із переробкою вагони.

© Мироненко В.К., Мацюк В.І., 2012

Відсортування місцевих вагонів та формування передавальних поїздів з них є обов'язковим елементом сучасної технології переробки місцевих вагонів у великих залізничних вузлах, оскільки тільки таким чином можливе їх відсортування із загального вагонопотоку та подальша переробка [1].

Оптимізація переробки місцевих вагонів у розвинених залізничних вузлах зводиться до визначення таких варіантів внутрішньовузлових пересувань вагонів та фізичного розташування підсистем у вузлі, при яких загальні техніко-експлуатаційні витрати будуть мінімальні. Однак в умовах жорсткої конкуренції залізниць з іншими видами транспорту (особливо автомобільним) найважливішим критерієм якісного виконання обов'язків по транспортуванню вантажів вважається виконання строків доставки вантажів та, при можливості, їх зменшення. Задача оптимізації зводиться до такого: за сучасних топологічних, місцевих та технічних умов, структури вагонопотоків та особливостей функціонування великого залізничного вузла знайти такий варіант концентрації технічної переробки місцевого вагонопотоку, при якому середня довжина внутрішньовузлових маршрутів прямування, середня тривалість знаходження місцевих вагонів та загальні техніко-експлуатаційні витрати на переробку у вузлі були б найменшими. Треба зауважити, що дотримання одночасно двох зазначених критеріїв оптимізації (а саме тривалості знаходження місцевого вагона у вузлі та загальні техніко-експлуатаційні витрати на переробку) не завжди можливо, оскільки у ряді випадків їх залежність зворотно пропорційна [2, 3]. Збільшення капіталовкладень у інфраструктуру та витрат на утримання і експлуатацію технічних приладів та устаткування (наприклад, збільшення кількості маневрових та магістральних локомотивів) може призвести до зростання питомих техніко-експлуатаційних витрат на переробку одного місцевого вагона, однак дозволить зменшити тривалість міжопераційних простоїв та загалом зменшити час переробки місцевого вагона у вузлі.

Одним із можливих засобів одночасного зменшення тривалості переробки місцевих вагонів та зниження техніко-експлуатаційних витрат на переробку зазначеного вагонопотоку є скорочення маршрутів прямування місцевих вагонів через розподіл технічної переробки відповідних вагонів між станціями вузла.

Задача мінімізації часу просування місцевих вагонів у розвиненому залізничному вузлі зводиться до мінімізації маршрутів (відстаней) на графі:

$$T = (W, O), \tag{1}$$

де $O = \{o_y\}$ – множина ребер T-графа, що відповідають тривалості прямування по відповідних ділянках, (рис. 1);

Y – загальна кількість ребер на графі, $y \in Y$.

Час прямування вагона до станції призначення подається як:

$$T\left(v_{i,j,x}\right)=T\left(Bx_x, j\right)+t_j^{\text{тех}}+T^{\text{вн}}\left(j,i\right), \qquad (2)$$

де $T\left(Bx_x, j\right)$ – час прямування вагона від (до) вхідної станції вузла із x напрямку до станції виконання технічних операцій, год.;

$t_j^{\text{тех}}$ – час знаходження місцевого вагона на i-й станції під технічними операціями, год.;

$T^{\text{вн}}\left(j,i\right)$ – час прямування вагона від (до) станції виконання технічних операцій, до i-ї станції навантаження (вивантаження), год. Значення не залежить від напрямку прибуття (відправлення) вагона до (із) вузла.

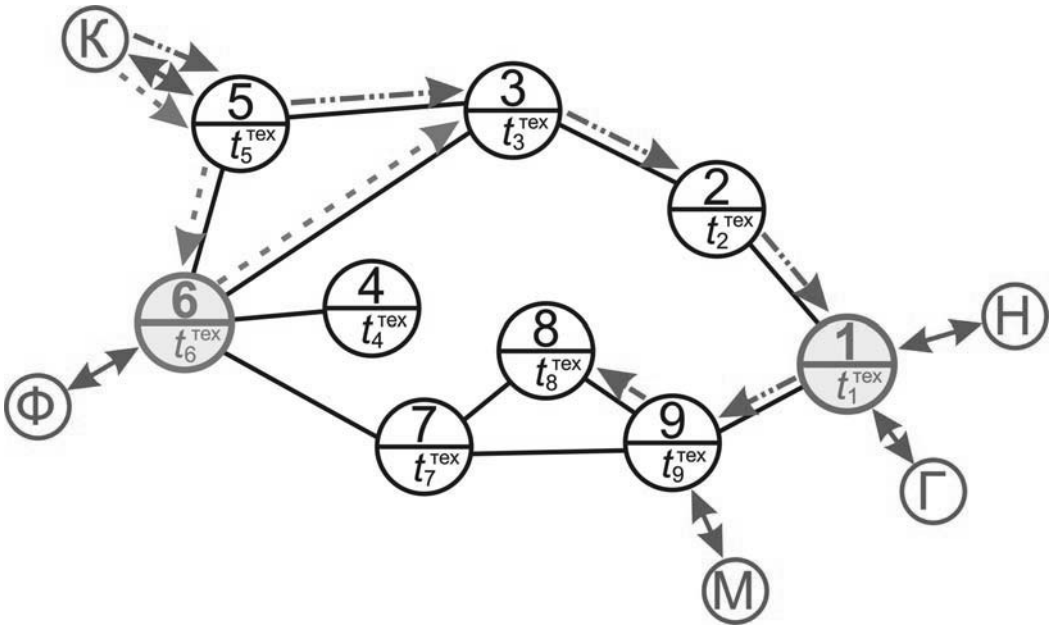

Рис. 1. ***T*-граф тривалості часу прямування місцевих вагонів у вузлі Варіанти маршрутів:**

– місцевих вагонів з напрямку «К2 до станції 3 із технічною переробкою на станції 6;

– місцевих вагонів з напрямку «К» до станції 8 із технічною переробкою на станції 1.

Для прикладу: час прямування місцевого вагона з напрямку «К» до станції 8 із технічною переробкою на станції 1 та до станції 3 із переробкою на станції 6 буде проходити у таких послідовностях ребер *T*-графа: К-5-3-2-1-9-8 та К-5-6-3 (з урахуванням часу знаходження місцевого вагона на технічних станціях – у вершинах 1 та 6 *T*-графа відповідно) (рис. 1); формально подається як:

$$T\left(v_{8,1,\text{К}}\right)=T\left(Bx_{\text{К}},1\right)+t_1^{\text{тех}}+T^{\text{вн}}\left(1,8\right)=\underbrace{T\left(5,3\right)+T\left(3,2\right)+T\left(2,1\right)}_{T\left(Bx_{\text{К}},1\right)}+t_1^{\text{тех}}+\underbrace{T\left(1,9\right)+T\left(9,8\right)}_{T^{\text{вн}}\left(1,8\right)};\quad (3)$$

$$T\left(v_{3,6,\text{К}}\right)=T\left(Bx_{\text{К}},6\right)+t_6^{\text{тех}}+T^{\text{вн}}\left(6,3\right)=\underbrace{T\left(5,6\right)}_{T\left(Bx_{\text{К}},6\right)}+t_6^{\text{тех}}+\underbrace{T\left(6,3\right)}_{T^{\text{вн}}\left(6,3\right)}.\quad (4)$$

Час пересування вагонів у складах вантажних поїздів розраховується за загальним принципом:

$$T\left(Bx_x,\,j\right)=\frac{P\left(Bx_x,\,j\right)}{v_{\text{д}}},\quad T^{\text{вн}}\left(j,i\right)=\frac{P^{\text{вн}}\left(j,i\right)}{v_{\text{д}}},\quad (5)$$

де $v_{\text{д}}$ – дільнична швидкість руху, км/год.

Середня тривалість прямування місцевих вагонів у вузлі становитиме за прибуттям:

$$T^{\text{п}}=\sum_{x=1}^{X}\sum_{j=1}^{J}\sum_{i=1}^{I}T_k\left(v_{i,j,x}\right)^{\text{п}}\cdot R_{i,x}^{\text{п}}\cdot Q_{j,x}^{\text{п}}\cdot Z_x^{\text{п}},\ \ k=1,\ 2,\ \ldots,\ K,\quad (6)$$

за відправленням:

$$T^{\text{в}}=\sum_{x=1}^{X}\sum_{j=1}^{J}\sum_{i=1}^{I}T_k\left(v_{i,j,x}\right)^{\text{в}}\cdot R_{i,x}^{\text{в}}\cdot Q_{j,x}^{\text{в}}\cdot Z_x^{\text{в}},\ \ k=1,\ 2,\ \ldots,\ K.\quad (7)$$

де $R_{i,x}^{\text{п}}$ – ймовірність прямування місцевого вагона з напрямку x на i – у станцію для вивантаження (навантаження);

$Q_{j,x}^{\text{п}}$ – ймовірність проходження місцевого вагона, що прибув з напрямку x, технічної переробки на j-й станції;

$Z_x^{\text{п}}$ – ймовірність прибуття місцевого вагона з напрямку x.

Сумарний час знаходження місцевого вагона у вузлі буде дорівнювати:

$$T=T^{\text{п}}+T^{\text{в}}+t_{\text{ван}}^{\text{м}}.\quad (8)$$

Цільові функції за критерієм мінімізації часу знаходження місцевого вагона у вузлі матиме вигляд:

$$T=f\begin{pmatrix}T\left(Bx_x,\,j\right)^{\text{п}}T^{\text{вн}}\left(j,i\right)^{\text{п}},R_i^{\text{п}},Q_j^{\text{п}},Z_X^{\text{п}},t_{\text{ван}}^{\text{м}}\\ t_i^{\text{тех}},T\left(Bx_x,\,j\right)^{\text{в}},T^{\text{вн}}\left(j,i\right)^{\text{в}},R_i^{\text{в}},Q_j^{\text{в}},Z_x^{\text{в}}\end{pmatrix}\to\min.\quad (9)$$

Реалізація моделей виконується за таких обмежень та умов:

$$\left.\begin{array}{l}
\left(\begin{array}{l} T(Bx_x, j)^{\text{п}},\ T^{\text{вн}}(j,i)^{\text{п}},\ T(Bx_X, j)^{\text{в}}, \\ T^{вн}(j,i)^{\text{в}},\ R_i^{\text{п}},\ Z_x^{\text{п}},\ R_i^{\text{в}},\ Z_x^{\text{в}},\ t_{\text{ван}}^{\text{м}},\ t_i^{\text{тех}} \end{array}\right) \text{- постійні величини,} \\
\left(Q_j^{\text{п}}, Q_j^{\text{в}}\right) \text{- змінні величини,} \\
\sum_{j=1}^{J} Q_j^{\text{п}} = 1,\ \sum_{j=1}^{J} Q_j^{\text{в}} = 1,\quad Q_j^{\text{п}} \in [0,\ 1],\ Q_j^{\text{в}} \in [0,\ 1],\quad j = 1,\ 2,\ \ldots,\ J; \\
\sum_{i=1}^{I} R_i^{\text{п}} = 1,\ \sum_{i=1}^{I} R_i^{\text{в}} = 1;\quad R_i^{\text{п}} \in [0,\ 1],\ R_i^{\text{в}} \in [0,\ 1],\quad i = 1,\ 2,\ \ldots,\ I; \\
\sum_{x=1}^{X} Z_x^{\text{п}} = 1,\ \sum_{x=1}^{X} Z_x^{\text{в}} = 1;\quad Z_x^{\text{п}} \in [0,\ 1],\ Z_x^{\text{в}} \in [0,\ 1],\quad x = 1,\ 2,\ \ldots,\ X.
\end{array}\right\}. \qquad (10)$$

Обсяг даних математичної моделі (вирази 6 - 10) являють собою тримірні масиви. Сама задача відноситься до задач лінійного програмування [4]. Для реалізації моделі процесу конкретного вузла матриці даних представляються у вигляді таблиць: масиви даних $N_{\text{м}}^{\text{річн}}$, $T(Bx_x, j)^{\text{п}}$, $T^{\text{вн}}(j,i)^{\text{п}}$, $T(Bx_x, j)^{\text{в}}$, $T^{\text{вн}}(j,i)^{\text{в}}$, $R_i^{\text{п}}$, $Z_x^{\text{п}}$, $R_i^{\text{в}}$, $Z_x^{\text{в}}$, $Q_j^{\text{п}}$, $Q_j^{\text{в}}$, $t_{\text{ван.}}^{\text{м}}$, $t_i^{\text{тех}}$.

У даному вигляді зазначений метод також може бути використаний як інструмент визначення середньозваженого часу перебування місцевого, транзитного з переробкою або транзитного без переробки вагона у вузлі. Власне результатом реалізації моделі і є середньозважений час перебування вагону певної категорії у вузлі.

У разі визначення найраціональнішої системи організації вагонопотоків у вузлі замість значень $t_i^{\text{тех}}$ можуть використовуватись параметри накопичення відповідних станцій *c*. Тоді вираз (2) матиме вигляд:

$$T(v_{i,j,x})' = T(Bx_x, j) + c_i + T^{\text{вн}}(j,i). \qquad (11)$$

Вираз (11) у більшості випадків може бути використаний лише як інструмент порівняння варіантів системи організації вагонопотоків у вузлі. Однак, враховуючи те, що параметр накопичення *c* є більш сталою величиною, ніж загальний час простою місцевого вагона на технічній станції $t_i^{\text{тех}}$ та залежить більше від особливостей технології роботи та місцевих умов кожної окремої технічної станції, результат із елементами *c* замість $t_i^{\text{тех}}$ буде актуальним протягом більшого проміжку часу.

Реалізація моделі на прикладі одного з найбільших залізничних вузлів України – Київського, за даними 2007 року (максимальні «докризові» обсяги місцевої роботи), при існуючій системі розвозу – із концентрацією технічної переробки у вершині графа 1 (рис.1) – дозволяє визначити таке:

середня тривалість знаходження місцевого вагона за прибуттям становить 14,00 год., а за відправленням – 13,93 год. Загальний час переробки місцевого вагона складе 62,17 год. (результати подано у табл.. 1 та на рис. 2). Приблизно 97,8% всього часу перебування у вузлі місцевий вагон знаходиться на технічних та вантажних станціях, а саме: 55,1 % – на вантажній станції, 42,7% – на технічних станціях, безпосередньо у русі – 2,2%. Тобто найбільший час перебування місцевого вагона у вузлі залежить від простою на вантажних та технічних станціях.

Тривалість прямування місцевого вагона до вантажної станції для вивантаження (навантаження) та прямування у зворотному напрямку найбільше залежить від часу знаходження місцевого вагона на технічних станціях.

Реалізація моделі за різних умов концентрації технічної переробки місцевих вагонів подано у табл. 1. Теоретично концентрація технічної переробки місцевого вагонопотоку можлива на будь-якій станції Київського вузла. Із практичної точки зору (відповідно до сучасного стану розвитку інфраструктури вузла) ефективне відсортування та виконання інших технічних операцій можливе тільки на технічних станціях (вершини графа 1 та 6 на рис. 1 відповідно).

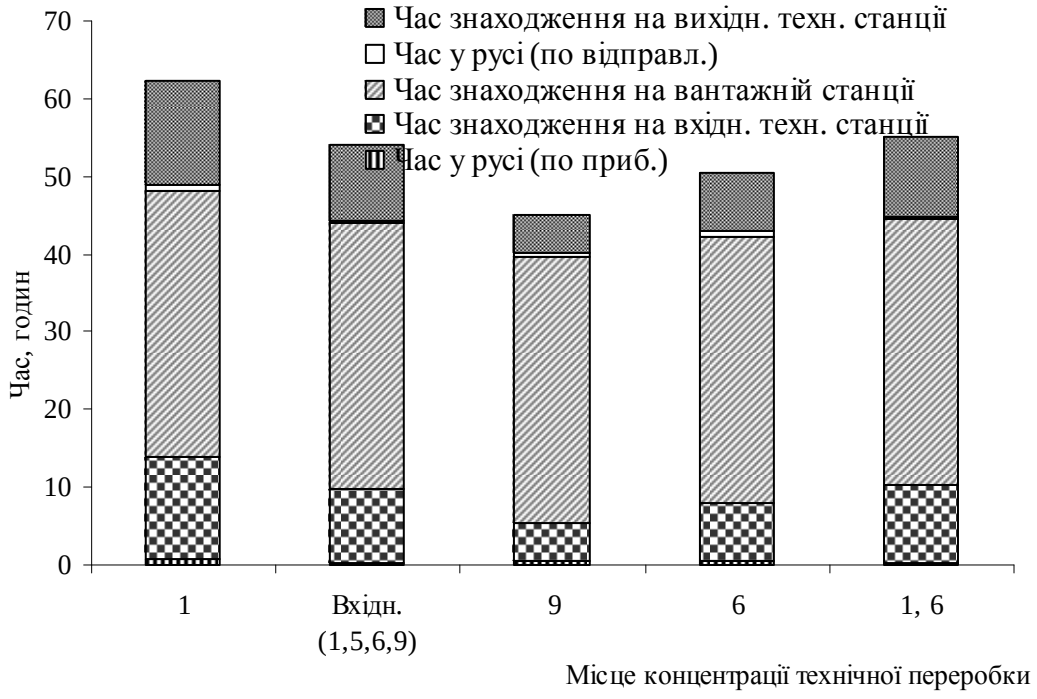

Рис. 2. **Структурні складові часу знаходження місцевого вагона у Київському вузлі при різних місцях концентрації технічної переробки**

За умов концентрації технічної переробки всього місцевого вагонопотоку у вершині 6 *T*-графа, загальний час знаходження вагона у вузлі

дорівнюватиме 50,5 год. (таблиця 1), що на 11,7 години (або 18,8%) менший від існуючого показника. Основна частина скорочення загального часу головним чином досягається за рахунок меншого значення часу знаходження місцевого вагона на технічній станції (у даному разі $t_6^{\text{тр.пер}} = 7{,}5$ год), що на 5,8 год. (або 43,4%) менше за $t_1^{\text{тр.пер}} = 13{,}3$ год.

При концентрації технічної роботи у вершинах графа 1 та 6, відповідно, а саме технічна переробка вхідних та вихідних місцевих вагонопотоків напрямків «К» та «Ф» концентрується у вершині 6, напрямків «М», «Г», «Н» – у вершині графа 1 *Т*-графа (рис. 1). Отримано таке: загальне значення менше від існуючого варіанта на 7,0 години (або 11,3%). Значення складових не суттєво відрізняється від варіанта із концентрацією технічної роботи на вхідних станціях вузла. Даний варіант не дає такого великого ефекту економії вагоно-годин, як попередні, однак він є найбільш прийнятним із практичної точки зору. Треба також зауважити, що зазначений варіант концентрації технічної переробки забезпечує мінімальні вагоно-кілометри маршрутів прямування місцевих вагонів у Київському вузлі [5].

Даний метод, побудований на комплексі математичних моделей, має суттєві переваги, оскільки його алгоритм дозволяє визначити оптимальне місце концентрації технічної переробки місцевих вагонів відповідно до вибраних параметрів та критеріїв оцінки, незалежно від складності, фізичної конфігурації, кореспонденції та інших місцевих умов розвинених вузлів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Типовий технологічний процес роботи сортувальної станції. Затверджений наказом Укрзалізниці від 23.12.98 №324-Ц
2. *Мацюк В. І.* Аналіз існуючої технології розвозу місцевих вагонів у великих залізничних вузлах // Проблемы экономики и управления на железнодорожном транспорте: Материалы Второй Международной научно-практической конференции. Судак, 19-22 июня 2007 г. – Судак; Киев. – 2007. – Т. 1. – С. 217-218.
3. *Мироненко В.К* Вплив кількості груп призначень місцевих вагонів у складах поїздів на розміри передавального руху та терміни доставки вантажів / *В.К. Мироненко, В. І. Мацюк* // Материалы Второй Международной научно-практической конф. [Проблемы экономики и управления на железнодорожном транспорте], (19-22 июня 2007 г., Судак). – К., 2007. – Т. 1. – С. 210-211.
4. *Акулиничев В.М.* Математические методы в эксплуатации железных дорог: учеб. пособие [для вузов ж.-д. трансп.] / *Акулиничев В.М., Кудрявцев В.А., Корешков А.Н.* – М.: Транспорт, 1981. – 223 с.
5. *Мацюк В.І.* Удосконалення системи розвозу місцевих вагонів в залізничному вузлі: дис. ... кандидата техн. наук: 05.22.01 / *Мацюк Вячеслав Іванович*. – К., 2009. – 181 с.

Таблиця 1. **Результати реалізації моделі за критерієм мінімізації часу**

Місце концентрації технічної роботи на графі (рис. 3,1)			Прибуття			Відправлення			$t^{м}_{ван}$	$t_{м}$
			$T(Bx_x, j) + T^{вн}(j,i)$	$t_i^{тех}$	$T^{п}$	$T(Bx_x, j) + T^{вн}(j,i)$	$t_i^{тех}$	$T^{в}$		
1			0,7	13,3	14,0	0,7	13,3	13,9	34,2	62,2
Вхідні (1,5,6,9)	Значення		0,3	9,4	9,7	0,3	9,9	10,2	34,2	54,2
	Відношення до існуючого варіанта	Абсолютне	0,4	3,9	4,3	0,4	3,4	3,74	-	8,04
		Відносне	57,6%	29,1%	30,6%	57,6%	25,2%	26,8%	-	12,9%
9	Значення		0,54	4,9	5,4	0,5	4,9	5,4	34,2	45,0
	Відношення до існуючого варіанта	Абсолютне	0,3	8,4	8,6	0,2	8,4	8,5	-	17,1
		Відносне	28,8%	63,1%	61,4%	23,9%	63,1%	61,3%	-	27,6%
6	Значення		0,6	7,5	8,1	0,7	7,5	8,1	34,2	50,5
	Відношення до існуючого варіанта	Абсолютне	0,1	5,8	5,9	0,0	5,8	5,8	-	11,7
		Відносне	19,7%	43,4%	42,2%	3,9%	43,4%	41,6%	-	18,8%
1, 6	Значення		0,3	9,9	10,2	0,3	10,4	10,7	34,2	55,1
	Відношення до існуючого варіанта	Абсолютне	0,4	3,4	3,8	0,4	2,9	3,2	-	7,0
		Відносне	53,4%	25,6%	27,1%	53,4%	21,8%	23,3%	-	11,3%