

УДК 656.213:658.7(4777)

БУТЬКО Т. В., д.т.н., професор, завідувач кафедру «Управління експлуатаційною роботою»,  
СТАРИГІНА А. В., магістрант  
(Український державний університет залізничного транспорту)

## Формалізація функціонування системи залізничного транспорту незагального користування при взаємодії зі станцією примикання

У роботі проведено аналіз процесів функціонування підприємств залізничного транспорту незагального користування (ЗТНК) та залізничної станції примикання на основі системного підходу в умовах взаємодії АТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» і залізничної станції примикання Кривий Ріг. Сформовано математичну модель, що відтворює динамічний характер функціонування системи ЗТНК, дає змогу визначити, кількісно оцінити та усунути «вузькі місця» в системі, створити умови роботи згідно з логістичними засадами; проаналізовано технологію роботи ЗТНК і сформовано узагальнений оргграф перетворення вагонопотоків у мікрологістичній системі. Для оцінки параметрів математичної моделі було проведено статистичні дослідження щодо кількості вагонів та часу їх простою в умовах підприємства АТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» та станції примикання Кривий Ріг.

**Ключові слова:** система залізничного транспорту незагального користування, системний підхід, математична модель, узагальнений оргграф, мікрологістична система, залізнична станція примикання.

### Вступ

На сьогоднішній день транспортний сектор України – це значний і досить важливий сегмент для економіки країни, адже ефективна та злагоджена робота цілої транспортної системи є рушійною силою для загального розвитку країни.

Важливий напрямок взаємодії магістрального залізничного транспорту та ЗТНК – це отримання найбільшого ефекту в умовах раціонального використання виробничих і транспортних потужностей. Процеси в економіці України диктують нові технологічні умови доставки вантажів, а тому особливе місце та значення відведено перевезенню і переробці масових вантажопотоків – руди, вугілля, металу. Удосконалення цієї технології було б неможливе без її формалізації у вигляді моделі з подальшим використанням в автоматизованому робочому місці (АРМ) оперативного персоналу.

### Актуальність теми

Ураховуючи, що функціонування ЗТНК, зокрема такого підприємства, як АТ «АрселорМіттал Кривий Ріг», повинно забезпечувати мінімізацію витрат часу у всіх ланках просування масового вантажу, технологічна модель за своєю структурою повинна враховувати технічні і технологічні особливості постачання вантажу, умови взаємодії елементів системи та обмежену кількість ресурсів, що необхідно для виконання технологічних операцій. Таким чином,

виникає необхідність у створенні моделі саме логістичної технології при обслуговуванні вантажів на ЗТНК, а особливо в умовах перевезення небезпечних вантажів, при взаємодії зі станцією примикання АТ УЗ, що і доводить актуальність вищезазначеної теми.

### Аналіз попередніх досліджень і публікацій

Вагомий внесок у дослідження і формування мікроструктур логістичної системи ЗТНК зробили такі науковці: Бутько Т. В., Бабушкіна Г. Ф., Данько М. І., Ломотьюк Д. В. та ін.

У роботі [2] запропоновано методику вибору виду промислового транспорту за критерієм ефективності з розрахунком комплексного розвитку нової техніки всіх ланок виробництва.

У роботі [3] проаналізовано діяльність підприємств промислового залізничного транспорту відповідно до їх монопольного положення на ринку транспортних послуг.

У роботі [4] запропоновано використання підходу на основі побудови нечіткої ситуаційної моделі для формалізації технології оперативного управління процесом просування вагонів з небезпечними вантажами в системі «технічна станція – прилегла дільниця».

Але системний підхід при взаємодії ЗТНК та залізничної станції в умовах підприємства АТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» та станції примикання Кривий Ріг раніше не використовувався.

**Мета дослідження**

Метою поданої роботи є формалізація процесу функціонування підприємств ЗТНК та залізничної станції примикання на основі системного підходу шляхом упровадження логістичних технологій у їх роботу для подальшої інтелектуалізації управління системою.

**Основна частина дослідження**

Системи ЗТНК та промислові підприємства для виробництва й переробки масових вантажів являють собою складні динамічні промислово-комерційні комплекси, що проводять організаційно-економічну та виробничо-технологічну діяльність щодо постачання, основного виробництва, транспортних і збутових операцій. Характерними особливостями цих об'єктів є: мобільність одних (локомотивів, вагонів) та жорстка прив'язка до визначених географічних пунктів елементів системи (вантажних станцій – ВС, сортувальних станцій або пристроїв – СС, пунктів підготовки вагонів, вантажних фронтів, пунктів технічного огляду – ТО та поточних ремонтів – ПР локомотивів, підприємств-виробників, підприємств-споживачів тощо); залежність від результатів роботи значної кількості суміжних підсистем-модулів (вантажовідправників, вантажоотримувачів, транспортної ланки). Тому ці об'єкти доцільно розглянути з точки зору підвищення ефективності їх функціонування як мікрологістичні системи.

Також слід зазначити, що окремі модулі цієї системи представляють так звані закриті системи, що технічно, технологічно й економічно ізольовані від своїх партнерів. Це призводить до неузгодженості в їх роботі, що у свою чергу впливає на збільшення непродуктивних простоїв рухомого складу. А основним чинником, що обумовлює таку неузгодженість у роботі, є наявність непродуктивних простоїв вагонів або через несвоєчасну подачу локомотива чи неефективне його використання, або у черзі на вантажному фронті, або через непридатність вагона під навантаження.

Для узгодженості функціонування такої системи, як ЗТНК, зі станцією примикання доцільно користуватись системним підходом, що забезпечить синхронізацію в їх роботі. Саме цей підхід було використано при взаємодії підприємства АТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» зі станцією примикання Кривий Ріг.

Як відомо, головним інструментом для формування та дослідження логістичної системи є побудова її економіко-математичної моделі [7]. Математична модель дає змогу зрозуміти поведінку логістичної системи та обрати стратегію, що забезпечує більш ефективне її функціонування.

На першому етапі для наочного уявлення структури мікрологістичної системи ЗТНК доцільно

зобразити її у вигляді графа [8]. При цьому треба пам'ятати, що на балансі ЗТНК перебувають такі мобільні елементи системи, як локомотиви (власні або орендовані), бригади для проведення технічного огляду та підготовки вагонів, локомотивні бригади, складацькі бригади. Тобто реалізація логістичних технологій повинна відбуватись через раціональне використання саме цих елементів мікрологістичної системи. У загальному випадку вагонопотоки до ЗТНК можуть надходити та виходити через декілька м станцій примикання УЗ. Тому, спираючись на принцип суперпозиції потоків, можна вважати, що до ЗТНК надходить або виходить мультитермінальний потік відповідно з інтенсивностями  $\lambda_{\text{в}} = \sum_{i=1}^m \lambda_{\text{в}i}$  або  $\lambda'_{\text{в}} = \sum_{i=1}^m \lambda'_{\text{в}i}$  через одну станцію примикання УЗ, пропускна спроможність якої  $N = \sum_{i=1}^m N_i$ , де  $N_i$  – пропускна спроможність  $i$ -ої станції примикання.

З урахуванням усіх наведених вище припущень та аналізу технологій роботи ЗТНК сформовано узагальнений оргграф перетворення вагонопотоків у мікрологістичній системі за участю ЗТНК (рис. 1).

Для спрощення сприйняття роботи системи інтенсивності потоків зазначено тільки для узагальнених верхівок графа, а саме:  $BC_i^j$  та  $P_i^j$ .

Перетворення вагонопотоків відповідно до узагальненого оргграфа відбувається через керівні дії персоналу ЗТНК та реалізуються через потоки локомотивів та мобільних бригад для огляду вагонів. Спираючись на логістичні принципи та системний підхід, технологія роботи ЗТНК повинна забезпечувати мінімальні експлуатаційні витрати, що припадають на один вагон за період його перебування в системі при виконанні всіх технологічних операцій та врахуванні технічних та технологічних обмежень. Такими обмеженнями повинні виступати нижченаведені чинники: продуктивність вантажних фронтів, потужність сортувальних пристроїв, потужність підприємств споживачів або відправників, пропускна спроможність локомотивного депо при виконанні ТО та ПР за планово-попереджувальною системою утримання локомотивів, пропускна спроможність пунктів технічного огляду та підготовки вагонів, відповідність вимогам правил технічної експлуатації (ПТЕ). Розв'язання такої оптимізаційної задачі забезпечує відповідність інфраструктури й технології роботи ЗТНК потокам вагонів, що надходять та виходять з мікрологістичної системи до залізничної станції примикання і навпаки.

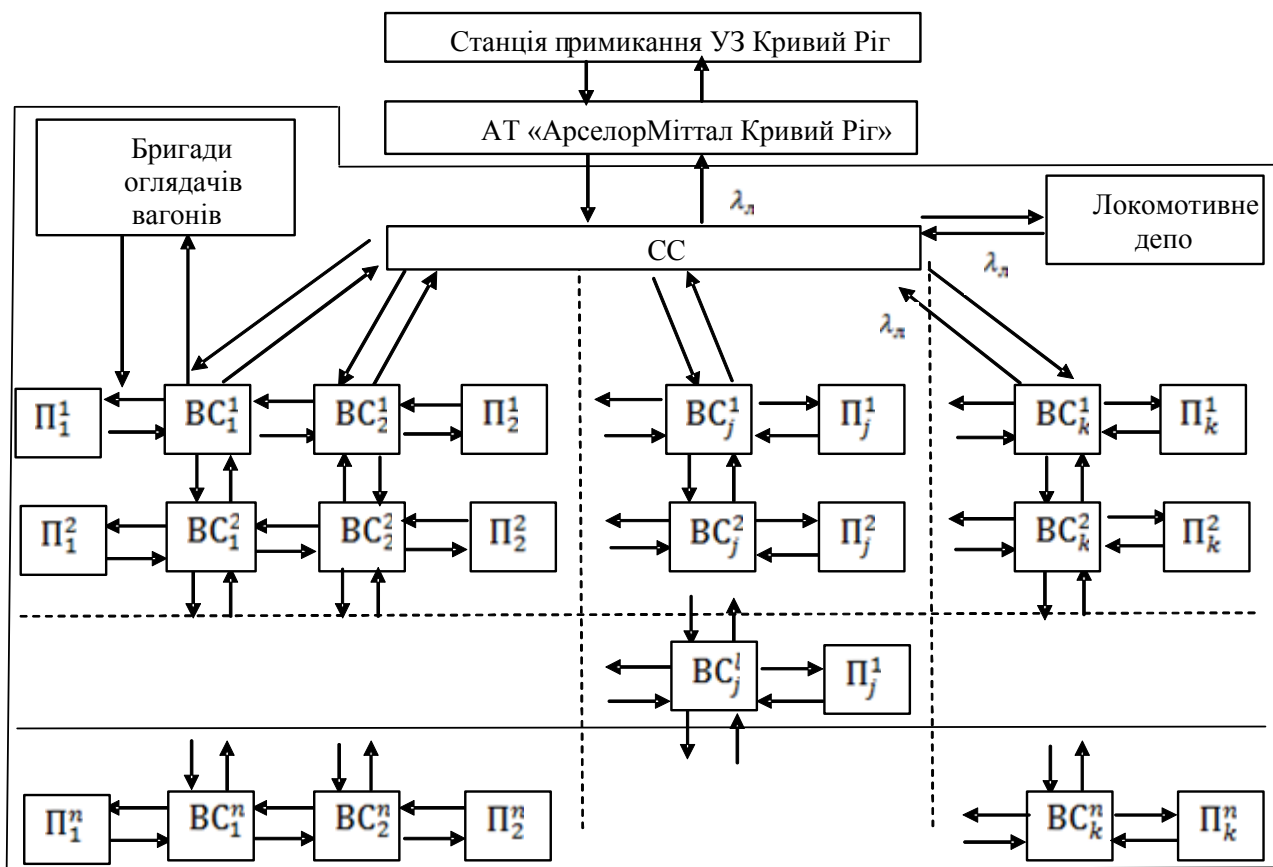


Рис. 1. Узагальнений оргграф перетворення вагонопотоків у мікрологістичній системі за участю ЗТНК та залізничної станції примикання:

- СС – сортувальна станція;
- $BC_j^l$  – вантажні станції;
- $\Pi_j^l$  – підприємство-споживач або підприємство-відправник;
- $\lambda_n$  – інтенсивність потоку локомотивів, що надходять у депо;
- $\lambda'_n$  – інтенсивність потоку локомотивів, що заходять у депо;
- $\lambda_{Bj}^l$  – інтенсивність вагонопотоків, що надходять у підсистему ЗТНК –  $BC_j^l$  ( $l=\overline{0, n}$ , при цьому  $l=0$  – означає, що вагонопотік надійшов безпосередньо з СС);
- $\lambda_{Bj}^{l'}$  – інтенсивність вагонопотоків, що виходять у підсистему ЗТНК –  $BC_j^l$  ( $l=\overline{0, n}$ , при цьому  $l=0$  – означає, що вагонопотік надходить безпосередньо з СС);
- $\lambda_{B\Pi j}^l$  – інтенсивність вагонопотоків, що надходять до підприємства  $\Pi_j^l$  з  $BC_j^l$ ;
- $\lambda_{B\Pi j}^{l'}$  – інтенсивність вагонопотоків, що виходять з підприємства  $\Pi_j^l$  на  $BC_j^l$ ;
- $\lambda_B, \lambda'_B$  – інтенсивність обслуговування бригадами оглядачів вагонів

Спираючись на вищенаведене, цільова функція математичної моделі функціонування ЗТНК запропонована у вигляді інтегрального показника:

$$I = \int_{t_0}^{t_1} f(\Omega(t), U(t)) dt \Rightarrow \min, \quad (1)$$

де  $\Omega(t) = \{\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_n\}$  –  $n$ -вимірний вектор стану системи;

$U(t) = \{u_1, u_2, \dots, u_r\}$  –  $r$ -вимірний вектор управління системою.

Компонентами вектора  $\Omega(t)$  є: кількість завантажених вагонів –  $N_z$ , кількість порожніх вагонів –  $N_{\Pi}$ , кількість маневрових локомотивів –  $N_{\Lambda}$ , кількість бригад для огляду вагонів –  $N_{\text{бпр}}$ , потужність підприємства-виробника –  $A_{\text{в}} = \frac{dQ_{\text{в}}}{dt}$ , потужність підприємства споживача –  $A_{\text{с}} = \frac{dQ_{\text{с}}}{dt}$  ( $Q_{\text{в,с}}$  – обсяг виробництва виробника/споживача). Два останні компоненти наведено з урахуванням системного підходу при дослідженні функціонування ЗТНК, який передбачає включення до системи підприємств-виробників або підприємств-споживачів, що можуть змінювати свої потужності у часі залежно від вимог ринку.

У свою чергу кожний компонент вектора стану системи  $\Omega(t)$  може перебувати у своїх власних станах, а саме: завантажені вагони  $N_z$  – у русі  $N_{\text{зр}}$ , в очікуванні  $N_{\text{зо}}$ , на вантажному фронті  $N_{\text{зф}}$ ; порожні вагони  $N_{\Pi}$  – у русі  $N_{\text{пр}}$ , в очікуванні  $N_{\text{по}}$ , на вантажному фронті  $N_{\text{пф}}$ , у технічному огляді  $N_{\text{пб}}$ ; маневрові локомотиви – у депо  $N_{\text{лд}}$ , у порожньому пробігу  $N_{\text{лп}}$ , у переміщенні з вагонами  $N_{\text{лв}}$ , в очікуванні  $N_{\text{ло}}$ ; бригади оглядачів – у процесі технічного огляду  $N_{\text{брт}}$ , у переміщенні  $N_{\text{брп}}$ , в очікуванні  $N_{\text{бро}}$ ; потужності підприємств характеризуються обсягом вантажу на зберіганні  $N_x$ . Тобто вектор має такі компоненти:

$$\Omega(t) = \{N_{\text{зр}}, N_{\text{зо}}, N_{\text{зф}}, N_{\text{пр}}, N_{\text{по}}, N_{\text{пф}}, N_{\text{пб}}, N_{\text{лд}}, N_{\text{лв}}, N_{\text{ло}}, N_{\text{брт}}, N_{\text{брп}}, N_{\text{бро}}, N_x\}. \quad (2)$$

Компонентами вектора  $U(t)$  можна вважати витрати, пов'язані з тривалостями перебування мобільних елементів системи, включно з вантажем у різних станах, що є безпосередньо наслідком керування. Ці елементи є добутками тривалостей (тривалість перебування завантажених вагонів: у русі  $tN_{\text{зр}}$ , в очікуванні  $tN_{\text{зо}}$ , на вантажному фронті при вивантаженні  $tN_{\text{зф}}$ ; тривалість перебування порожніх вагонів: у русі  $tN_{\text{пр}}$ , в очікуванні  $tN_{\text{по}}$ , на вантажному фронті при навантаженні  $tN_{\text{пф}}$ , у технічному огляді  $tN_{\text{пб}}$ ; тривалість перебування

маневрових локомотивів: у депо  $tN_{\text{лд}}$ , у порожньому пробігу  $tN_{\text{лп}}$ , у переміщенні з вагонами  $tN_{\text{лв}}$ , в очікуванні  $tN_{\text{ло}}$ ; тривалість перебування бригад для огляду вагонів: у процесі технічного огляду  $tN_{\text{брт}}$ , у переміщенні  $tN_{\text{брп}}$ , в очікуванні  $tN_{\text{бро}}$ , тривалість перебування вантажу на сховищі підприємства (виробника або споживача)  $t_{\text{сх}}$  на відповідні вартості одиниці часу перебування мобільних елементів у різних станах:

$$C(CN_{\text{зр}}, CN_{\text{зо}}, CN_{\text{зф}}, CN_{\text{пр}}, CN_{\text{по}}, CN_{\text{пф}}, CN_{\text{пб}}, CN_{\text{лд}}, CN_{\text{лв}}, CN_{\text{ло}}, CN_{\text{брт}}, CN_{\text{брп}}, CN_{\text{бро}}, CN_x) \quad (3)$$

У такій постановці інтегральний показник якості управління можна розглядати як скалярний добуток

векторів  $\Omega(t)$  та  $U(t)$  за період спостереження  $(t_1 - t_0)$ , наприклад за добу, тобто

$$I = \int_{t_0}^{t_1} (\Omega(t) \cdot U(t)) dt = \int_{t_0}^{t_1} (N_{\text{зр}} \cdot CN_{\text{зр}}, N_{\text{зо}} \cdot CN_{\text{зо}}, N_{\text{зф}} \cdot CN_{\text{зф}}, N_{\text{пр}} \cdot CN_{\text{пр}}, N_{\text{по}} \cdot CN_{\text{по}}, N_{\text{пф}} \cdot CN_{\text{пф}}, N_{\text{пб}} \cdot CN_{\text{пб}}, N_{\text{лд}} \cdot CN_{\text{лд}}, N_{\text{лв}} \cdot CN_{\text{лв}}, N_{\text{ло}} \cdot CN_{\text{ло}}, N_{\text{брт}} \cdot CN_{\text{брт}}, N_{\text{брп}} \cdot CN_{\text{брп}}, N_{\text{бро}} \cdot CN_{\text{бро}}, N_x \cdot CN_x) \times \Omega(tN_{\text{зр}} \cdot CN_{\text{зр}}, tN_{\text{зо}} \cdot CN_{\text{зо}}, tN_{\text{зф}} \cdot CN_{\text{зф}}, tN_{\text{пр}} \cdot CN_{\text{пр}}, tN_{\text{по}} \cdot CN_{\text{по}}, tN_{\text{пф}} \cdot CN_{\text{пф}}, tN_{\text{пб}} \cdot CN_{\text{пб}}, tN_{\text{лд}} \cdot CN_{\text{лд}}, tN_{\text{лв}} \cdot CN_{\text{лв}}, tN_{\text{ло}} \cdot CN_{\text{ло}}, tN_{\text{брт}} \cdot CN_{\text{брт}}, tN_{\text{брп}} \cdot CN_{\text{брп}}, tN_{\text{бро}} \cdot CN_{\text{бро}}, tN_x \cdot CN_x) dt \Rightarrow \min. \quad (4)$$

Систему обмежень математичної моделі доцільно сформулювати у такому вигляді:

$$\left\{ \begin{array}{l} V \leq V_{\text{нх}} \quad (V - \text{швидкість переміщення по коліях ЗТНК}, \\ \quad V_{\text{нх}} - \text{ходова швидкість відповідно нормам ПТЕ}); \\ T_{\text{л}} \leq 10\tau \quad (T_{\text{л}} - \text{час перебування локомотивів у депо при проведенні ТО та ПР}); \\ \lambda_{\text{вн}j}^l \leq Q_{\Phi j}^l \quad (Q_{\Phi j}^l - \text{продуктивність вантажного фронту підприємства П}^j); \\ \lambda_{\text{вн}j}^{l'} \leq Q_{\Phi j}^{l'} \\ T_{\text{о}} \leq 0,5\tau T_{\text{о}} \quad (T_{\text{о}} - \text{час огляду вагонів бригадою}); \\ \lambda_{\text{в}} + \lambda_{\text{в}}^l \leq Q_{\text{св}} \quad (Q_{\text{св}} - \text{потужність сортувальних пристроїв СС}); \\ \lambda_{\text{вн}j}^l \geq Q\Pi_j^l \quad (Q\Pi_j^l - \text{потужність підприємства П}^j). \end{array} \right.$$

В умовах зміни попиту на ринку системі ЗТНК необхідно надати гнучкості за рахунок властивості адаптації. Формально це означає, що величини  $\frac{dQ_{\text{в}}}{dt} = f_{Q_{\text{в}}}(t)$ , а  $\frac{dQ_{\text{с}}}{dt} = f_{Q_{\text{с}}}(t)$ , тобто продуктивності підприємств-виробників та споживачів повинні змінюватись у часі, а наслідком цього є зміна у часі інтенсивності  $\lambda_{\text{в}} = f_1(t)$  та  $\lambda_{\text{в}}^l = f_2(t)$ . Це призводить до того, що умова нормування  $\sum_{i=1}^{N_0} m_{\text{в}i} = N_0$  перетворюється у такий вигляд:

$$\sum_i m_{\text{в}i} = N(t) = N_0 + \int_0^t \delta(t) dt, \quad (5)$$

де  $N(t)$  – кількість вагонів у системі ЗТНК в момент часу  $t$ ;

$\delta(t)$  – інтенсивність зміни кількості вагонів (якщо  $\delta(t) > 0$  – іде процес поповнення парку вагонів, якщо  $\delta(t) < 0$  – іде процес зменшення парку вагонів), що відповідає функціонуванню відкритої системи.

Сформовані вище моделі відтворюють динамічний характер функціонування системи ЗТНК, а саме АТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» при взаємодії зі станцією примикання Кривий Ріг. Вони дають змогу визначити, кількісно оцінити та усунути «вузькі місця» в системі і створити умови роботи на логістичних засадах. Подальша реалізація цих моделей потребує формування інформаційно-керуючої системи на структурі розподілених систем підтримки прийняття рішень (СППР) оперативного персоналу.

Тож розроблена модель за своєю структурою є достатньо універсальною- залежно від умов можуть змінюватися тільки параметри моделі, що залежать від специфіки вантажних операцій по прибуттю або відправленню. При цьому в моделі враховано всі технологічні та технічні обмеження, що дає змогу відтворювати як технологію обслуговування масових вантажів, так і переробку груп порожніх вагонів від станції примикання до вантажного фронту підприємств.

Для реалізації сформованої моделі розкрито та досліджено зміни компонентів вектора стану системи у часі, тобто ця модель повинна відображати динамічний характер функціонування системи ЗТНК разом з підприємствами, які вона обслуговує, із залізничною станцією примикання.

Для оцінки параметрів моделі ( $N_{\text{сеп}}$  – середнє значення,  $\sigma$  – середнє квадратичне відхилення,  $k_{\text{н}}$  – коефіцієнт нерівномірності,  $V$  – коефіцієнт варіації) було проведено статистичні дослідження щодо кількості вагонів та часу їх простою в умовах підприємства АТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» та станції примикання Кривий Ріг (рис. 2-5).

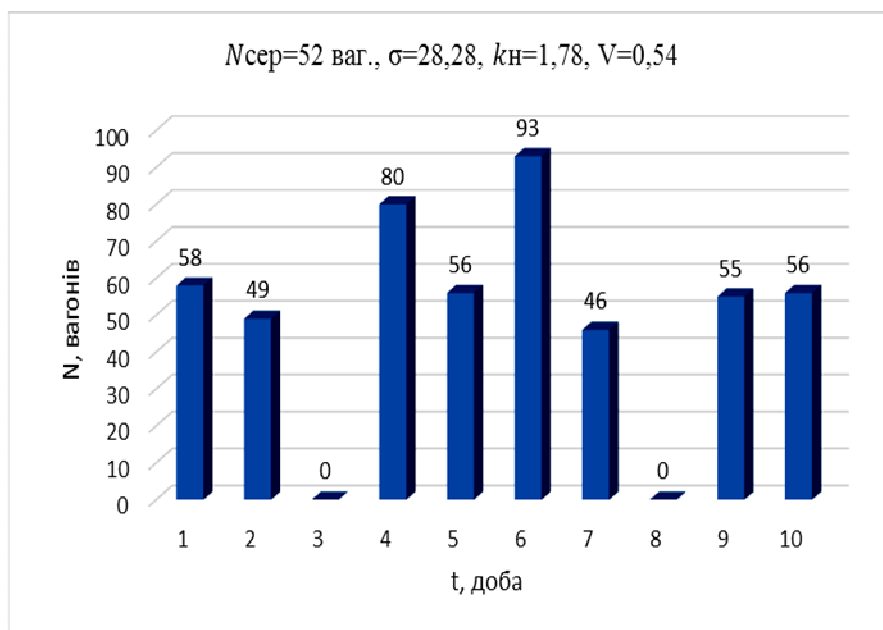


Рис. 2. Динаміка кількості вагонів в очікуванні подачі на під'їзні колії (за декаду)

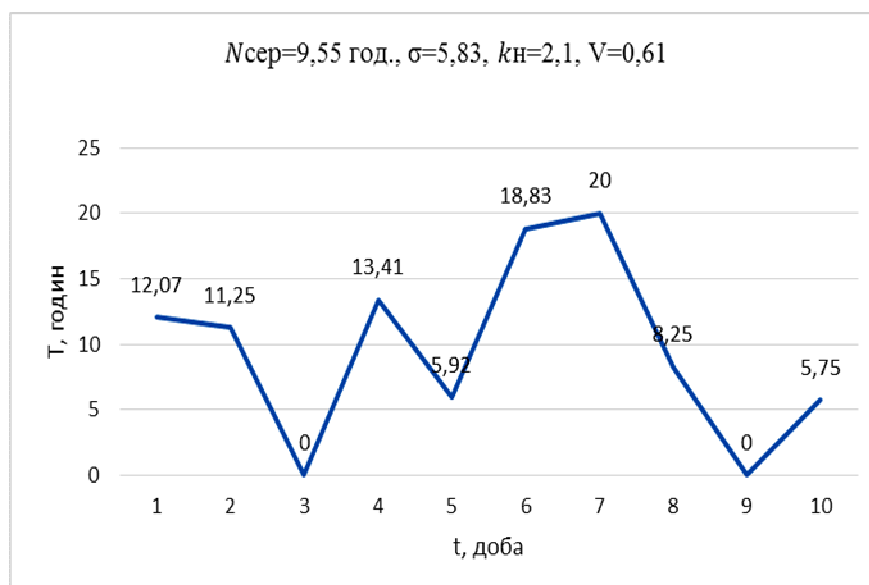


Рис. 3. Динаміка часу простою вагонів в очікуванні подачі на під'їзні колії (за декаду)

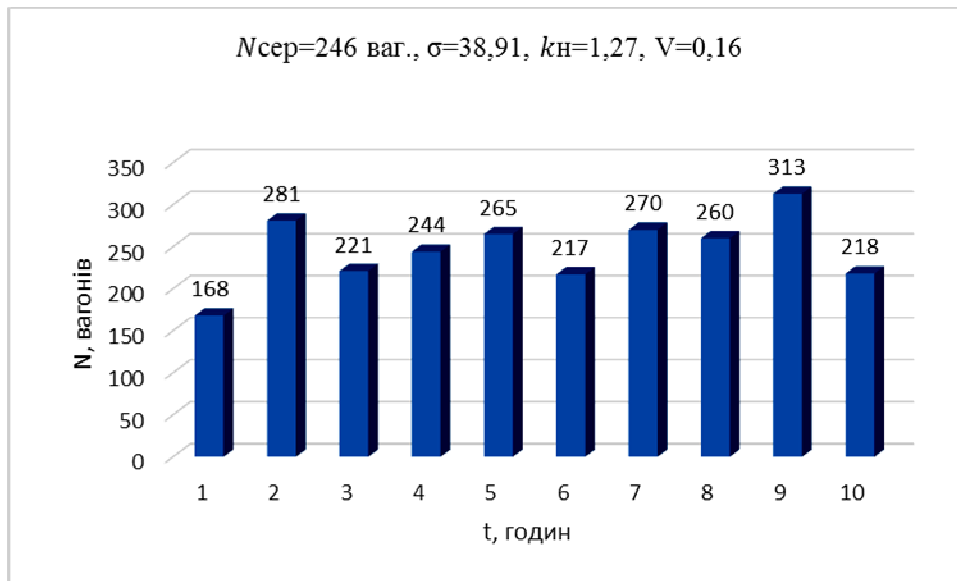


Рис. 4. Динаміка кількості вагонів в очікуванні прибирання з під'їзних колій (за декаду)

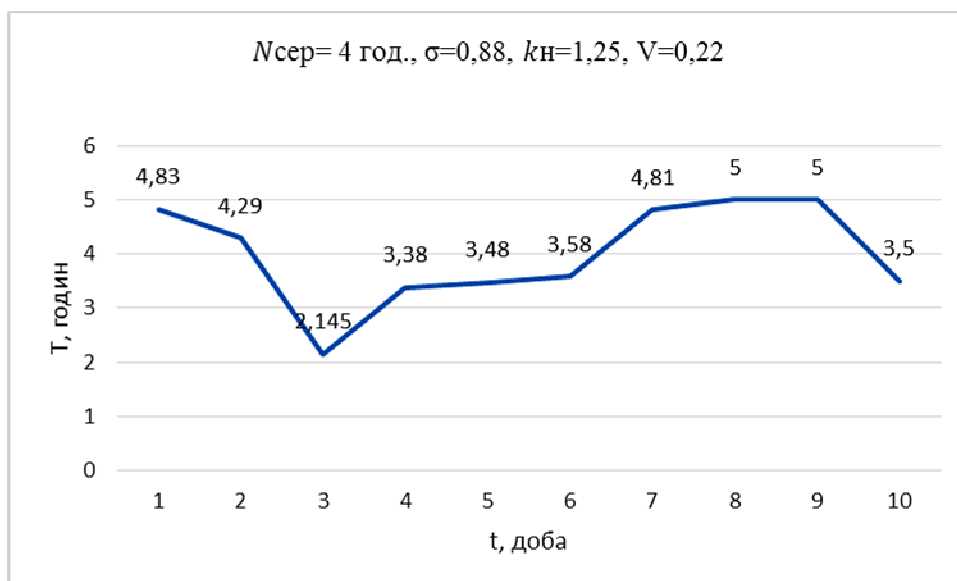


Рис. 5. Динаміка часу середнього простою одного вагона в очікуванні прибирання з під'їзної колії (за декаду)

### Висновки

У конкретних умовах підприємства АТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» та станції Кривий Ріг було проведено моделювання функціонування їх роботи та доведено існування оптимального значення інтегрального показника якості управління системою

«ЗТНК – станція примикання» на структурі розподілених СППР, також після проведених статистичних досліджень та оцінки параметрів моделі щодо кількості вагонів та часу їх простою були зроблені такі висновки: на рис. 2 – динаміка кількості вагонів в очікуванні подачі на під'їзні колії (ПК) є

досить нестабільною через нерівномірну кількість вагонів протягом декади, а тому середнє значення  $N_{сер}$  і середнє квадратичне відхилення  $\sigma$  мають менші показники, ніж на рис. 4, де динаміка кількості вагонів в очікуванні прибирання з під'їзних колій є стабільнішою і показники  $N_{сер}$ ,  $\sigma$  є більшими, і тому на рис. 3 і 5 зображено динаміку часу простою вагонів або одного вагона більш нерівномірну і рівномірну відповідно.

#### Список використаних джерел

1. Бутько Т. В., Ломотько Д. В., Панкратов В. І. Формування логістичних технологій на базі інформаційно-керуючої системи підприємствами промислового залізничного транспорту. *Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті*. 2009. № 1. С.44-48.
  2. Бабушкін Г. Ф., Омельченко О. Д., Стрелко О. Г. Вибір виду промислового транспорту. *Нові матеріали і технології в металургії та машинобудуванні*. 2007. Вип. № 1. С. 134-140.
  3. Проблеми підприємств промислового залізничного транспорту і деякі напрямки їх вирішення / М. І. Данько, Є. І. Балака, М. І. Луханін, В. І. Панкратов. *Залізничний транспорт України*. 2008. № 3. С. 48-50.
  4. Бутько Т. В., Прохорченко А. В., Музикіна С. І. Формування моделі оперативного управління процесом просування вагонів з небезпечними вантажами в підсистемі «технічна станція-прилегла дільниця» на базі нечіткої ситуаційної мережі. *Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті*. 2012. № 5. С. 13-16.
  5. Панкратов В. І. Удосконалення технології роботи залізничного транспорту незагального користування на базі інформаційно керуючої системи. *Зб. наук. праць*. Харків : УкрДАЗТ, 2007. Вип. 85. С. 12-24.
  6. Ломотько Д. В., Бутько Т. В. Методологічний підхід до формалізації процесу функціонування великих динамічних систем залізничного транспорту. *Зб. наук. праць*. Харків : УкрДАЗТ, 2007. Вип. 85. С. 25-34.
  7. Sasaki T., Akiyama T. Traffic control process of expressway by fuzzy logic. *Fuzzy Sets and Systems*. 1988. Vol. 26. P. 165-178.
  8. Кристофидес Н. Теория графов. Алгоритмический подход. Москва : Мир, 1978. 432 с.
- Бутько Т. В., Старыгина А. В. Формализация функционирования системы железнодорожного транспорта необщего пользования при взаимодействии со станцией примыкания.**  
**Аннотация.** В работе проведен анализ процессов функционирования предприятий железнодорожного транспорта необщего пользования (ЖТНП) и железнодорожной станции примыкания на основе системного подхода в условиях взаимодействия АО «АрселорМиттал Кривой Рог» и железнодорожной станции примыкания Кривой Рог. Сформирована математическая модель, воспроизводящая динамичный характер функционирования системы ЖТНП, позволяющая определить, количественно оценить и устранить «узкие места» в системе, создать условия работы согласно логистическим принципам, проанализировать технологию работы ЖТНП и сформировать обобщенный оргграф преобразования вагонопотоков в микрологистической системе. Для оценки параметров математической модели были проведены статистические исследования по количеству вагонов и времени их простоя в условиях предприятия АО «АрселорМиттал Кривой Рог» и станции примыкания Кривой Рог.  
**Ключевые слова:** система железнодорожного транспорта необщего пользования, системный подход, математическая модель, обобщенный оргграф, микрологистическая система, железнодорожная станция примыкания.

**Butko T. V., Starygina A. V. Formalization of functioning of a system of railway transport of uncommon use in interaction with the station of an adjunction.**

**Abstract.** On the railroads of Ukraine revealed studying of elements of a turn of the freight car that transport industry necessary introductions of integrated approaches with improvement of technology of interaction of the main transport with railway transport of uncommon use (RTUU) and rationalization intrasystem interactions of the RTUU elements on the basis of the logistic principles. In work it is proved that RTUU represent difficult dynamic industrially commercial complexes and also it is defined that characteristics of elements of such systems are the mobility of locomotives, cars, teams of observers and tightly bind to certain geographic locations of other items, such as cargo and sorting stations or other devices. Having constructed the oriented graph of the carriages flow in the RTUU system - communications were formalized and dependence on the performance of a large number of adjacent subsystems (shippers, consignees, and transport links) was demonstrated. And therefore it is proved that RTUU are peculiar characteristics of a logistics system and it is desirable to consider it as a complex logistics system



for further improvement of indicators of efficiency of its functioning. It was formalized functioning of the RTUU system in the form of mathematical model that allowing to study and investigate the properties of a system causing its ability to self-preservation (flexibility and adaptability). This model represents an optimizing task where criterion function is the integrated criterion of quality of management of mobile elements of a system that is shown in the form of a scalar product of operational indicators of the RTUU system for a certain period of time. This system of restrictions considers technical, technological and standard conditions. Therefore it is decided that improvement of quality of management on the basis of the created models needs in formations of a uniform management information system on structure of the distributed systems of support of decision-making of operation personnel.

**Keywords:** the system of railway transport of uncommon use, system approach, mathematical model, the generalized oriented graph, micrologistic system, the railway station of an adjunction.

*Надійшла 10.02.2020 р.*

**Бутько Тетяна Василівна**, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри «Управління експлуатаційною роботою», Український державний університет залізничного транспорту, Харків, Україна. E-mail: [uer@kart.edu.ua](mailto:uer@kart.edu.ua)

<https://orcid.org/0000-0003-1082-599X>

**Старигіна Анастасія Володимирівна**, магістрант, Український державний університет залізничного транспорту, Харків, Україна.

E-mail: [staryginanas@gmail.com](mailto:staryginanas@gmail.com)

**Butko Tatyana**, doctor of technical sciences, professor, head of the department of Management of operational work, State University of Railway Transport, Kharkiv, Ukraine. E-mail: [uer@kart.edu.ua](mailto:uer@kart.edu.ua) , <https://orcid.org/0000-0003-1082-599X>

**Starygina Anastasiia**, undergraduate, State University of Railway Transport, Kharkiv, Ukraine.

E-mail: [staryginanas@gmail.com](mailto:staryginanas@gmail.com)