

ЙМОВІРНІСНА МОДЕЛЬ ДОЦІЛЬНОСТІ ВИЗНАЧЕННЯ ЧАСУ ОБСЛУГОВУВАННЯ ВАГОНІВ НА МЕТАЛУРГІЙНОМУ ПІДПРИЄМСТВІ

У роботі розглянуто функціонування вантажних станцій металургійного комбінату, які обслуговують цеха вальцівки. При дослідженні динаміки роботи вантажних станцій, які обслуговують вальцівні цеха, було встановлено, що це послідовна зміна станів у часі, викликана, як випадковим, так і певним впливом різних факторів. Робота станцій залежить від виду внутрішньої структури потоку заяв, числа каналів обслуговування та законів розподілу часу обслуговування каналами. Узагальнивши всі ці показники, зроблено висновок, що робота станцій відрізняється нормативами знаходження вагонів на станції, встановленими для кожної станції окремо та різним видом листової вальцівки. Зроблений аналіз функціонування вантажних станцій з використанням теорії Марківського процесу показав, що розглядати останнє потрібно, як систему, яка може перебувати в одному з одинадцяти можливих станів роботи станції. Досліджено потоки станції та підтверджено, що вони відповідають пуассоновим потокам. Саме тому, існуючу систему дослідили з застосуванням апарату теорії ланцюгів Маркова з неперервним часом. Система функціонування станцій розглядається як ергодична, оскільки для процесу, що протікає в ній, виконуються дві необхідні і достатні умови: граф станів не має жодного стану і жодного підмножини станів без виходу і без входу; всі потоки подій, що переводять систему зі стану в стан, найпростіші з постійними інтенсивностями і для них існує гранична вірогідність. Отримані залежності дозволили визначити параметри розглянутих потоків на цій основі встановити вірогідність та час знаходження станції у кожному зі одинадцяти станів. Застосування теорії масового обслуговування дозволило використати інтенсивність переходів продовження обслуговування у кожному із станів функціонування вантажної станції. Розроблена ймовірнісна модель визначення часу знаходження вагонів на металургійному підприємстві. Визначені фактори, які впливають на динаміку роботи вантажної станції.

Ключові слова: металургійне підприємство, залізничний транспорт незагального користування, вантажна станція, вантажний вагон, ймовірнісна модель, апарат теорії ланцюгів Маркова.

Постановка проблеми. Вантажні станції металургійного підприємства можна віднести до багатофазної транспортної системи, вивчення якої свідчить про те, що вхідний на станцію вагонопотік при його обробці на кожному етапі зазнає значних змін. Ці зміни викликані обмеженнями потужностей обслуговуючих пристроїв. Крім того, особливість обробки вагонів на станції полягає в тому, що жодна із вимог (состав, група вагонів, вагон) не може покинути будь-яку із підсистем станції до того моменту, поки не буде завершена. У результаті чого виникають міжопераційні простоя в очікуванні виконання технологічних операцій, що негайно впливає на час знаходження вагонів на станціях навантаження.

При дослідженні динаміки роботи вантажних станцій, які обслуговують вальцівні цеха, було встановлено, що станції працюють практично в однакових умовах: процес перевезень здійснюється на підставі досить жорстких нормативних документів (план формування, графік руху поїздів, технологічних процесів різних підрозділів, тощо), а

Транспортні технології

також при постійному контролі за виконанням нормативів тривалостей технологічних операцій, які не відповідають нормативам. Якщо узагальнити всі ці показники, то можна сказати, що робота станцій відрізняється нормативами знаходження вагонів на станції, встановленими для кожної станції окремо та різним видом листової вальцівки.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Одним з основних методологічних напрямків дослідження залізничного транспорту незагального користування (ЗТНК) є застосування системного підходу, аналіз і синтез складних транспортних систем та оцінка отриманого загальносистемного ефекту від здійснення процесів перевезень у межах логістичних ланцюгів постачання [1]. У розвиток досліджень за цим напрямком, зробили істотний внесок багато вчених. Доктор технічних наук Парунакян В. Е. займався питаннями підвищення ефективності управління транспортним процесом, а саме управлінням вагонопотоками на металургійному підприємстві з метою зниження оплати за використання вагонів загальномережевого парку [2].

У роботі [3] М. І. Данька, Є. І. Балаки, М. І. Луханіна, В. І. Панкратова проаналізовано діяльність підприємств промислового залізничного транспорту відповідно до їх монопольного положення на ринку транспортних послуг.

Доктори технічних наук Т. В. Бутько, та Д. В. Ломотько у роботах [4-6] показали, що важливим напрямком діяльності магістрального залізничного транспорту та залізничного транспорту незагального користування (ЗТНК) є отримання максимального ефекту в умовах раціонального використання транспортних та виробничих потужностей. Авторами проаналізовано технологію роботи ЗТНК і сформовано узагальнений оргграф перетворення вагонопотоків у мікрологістичній системі та запропоновано впровадження комплексних підходів з удосконалення технології взаємодії магістрального транспорту із ЗТНК на базі логістичних принципів. Сформовано математичну модель, що відтворює динамічний характер функціонування системи ЗТНК, дає змогу визначити, кількісно оцінити та усунути «вузькі місця» у системі, створити умови роботи згідно з логістичними засадами.

У роботі [7] формалізовано технологічний процес перевезення вантажу на напрямку у вигляді оптимізаційної математичної моделі процесу просування вантажних вагонів. Цільова функція моделі представляє сукупні експлуатаційні витрати та заснована на використанні інтеграла Лебега-Стілт'еса, що враховує ефект першої та останньої милі. Модель також враховує можливі ризики, що виникають у процесі експлуатації вагонів. Сформовану оптимізаційну модель доцільно віднести до задач стохастичного програмування.

У праці [8], запропоновано метод розрахунку плану формування одноступінних вантажних поїздів у роботі, який базується на використанні генетичних алгоритмів. Метод демонструє не лише високу точність розрахунків, але і забезпечує можливість урахування обмежень по пропускній і переробній спроможності об'єктів залізничної інфраструктури. Застосування даного методу в сукупності з використанням можливостей сучасних обчислювальних систем дозволить вирішувати задачу розрахунку плану формування поїздів для всього полігону залізниць України.

У роботі [9] вченими Д. М. Козаченко, Р. В. Венігора, М. І. Березовий було виконано комплексний аналіз технічного оснащення та технології роботи залізничного транспорту великого металургійного комбінату України з використанням графоаналітичного моделювання. Запропоновано ряд заходів щодо удосконалення роботи під'їзної колії комбінату, яка базується на системному та комплексному аналізі їхньої роботи з використанням сучасного математичного апарату.

Транспортні технології

У роботі [10] розглянуто вагонопотік вагонопотік, що складається з парка вантажних вагонів різних власників, які прибувають з зовнішньої мережі на металургійне підприємство і далі йдуть під завантаження металопродукцією. Виконано аналіз отриманих даних, який дозволив розробити модель функціонування транспортної системи з обробки вхідного вагонопотоку.

Підсумувавши виконаний аналіз публікацій можливо зробити наступні висновки: усі запропоновані методи та моделі вирішення існуючої проблеми найбільш пов'язані з магістральним залізничним транспортом або «стиком» між магістральним та транспортом незагального користування промислових підприємств. Це питання, також, є актуальним і для залізничного транспорту промислових підприємств, а саме тому потребує подальшого вивчення та детального аналізу.

Мета дослідження. Метою роботи є розроблення ймовірнісної моделі визначення часу знаходження вагонів на металургійному підприємстві.

Для її досягнення необхідно вирішити наступні задачі:

1. Виконати аналіз наукових та практичних праць у напрямку визначення часу знаходження вантажних вагонів на підприємствах з урахуванням особливостей їхньої роботи.

2. Зробити аналіз експлуатаційної роботи вантажних станцій металургійного підприємства.

3. Розробити ймовірнісну модель доцільності визначення часу обслуговування вантажних вагонів на цих станціях.

Визначити фактори, які впливають на динаміку роботи вантажної станції.

Основний матеріал дослідження. Для вивчення стохастичних процесів вантажної станції можливо застосувати теорію масового обслуговування, основними характеристиками якої є вхідний потік, порядок черзі та механізм обслуговування. У реальних умовах вхідний потік, в основному, нерівномірний. порядок черги описує порядок обслуговування заявок. Механізм обслуговування характеризується тривалістю операцій перевізного процесу. При дослідженні роботи вантажної станції використовували методи теорії масового обслуговування [11, 12]. Кількісно описано, формалізовано усі фактори, які визначають умови її функціонування, поелементно встановлено перелік станів заявок, які надходять за усім послідовним циклом проходження з відповідними їм інтенсивностями.

Зроблений аналіз функціонування вантажних станцій [13] з використанням теорії Марківського процесу, дозволяє розглядати останнє, як систему (S), яка може перебувати в одному з одинадцяти можливих станів. Вони включають роботу станції в стані: (S_0) - штатного режиму функціонування; (S_1) - відсутність вагонів під завантаження; (S_2) - затримка з оформленням документів; (S_3) - затримок у подані поїзного тепловозу, (S_4) - затримок у подані маневрового тепловозу, (S_5) - ємнісні можливості станцій, а також у станах, (S_6) і (S_7), (S_8), (S_9), (S_{10}), (S_{11}) викликаних подіями ($S_3 + S_5$), ($S_4 + S_5$), ($S_6 + S_8$) і ($S_1 + S_2 + S_3$) відповідно. При цьому переходи зі стану в стан відбуваються під впливом потоків подій, щільності яких (λ_{ik}) визначаються на основі статистичних даних.

Розмічений граф станів умов роботи вантажної станції прийнятий на основі моделі процесу її функціонування і відображається на рисунку 1.

Транспортні технології

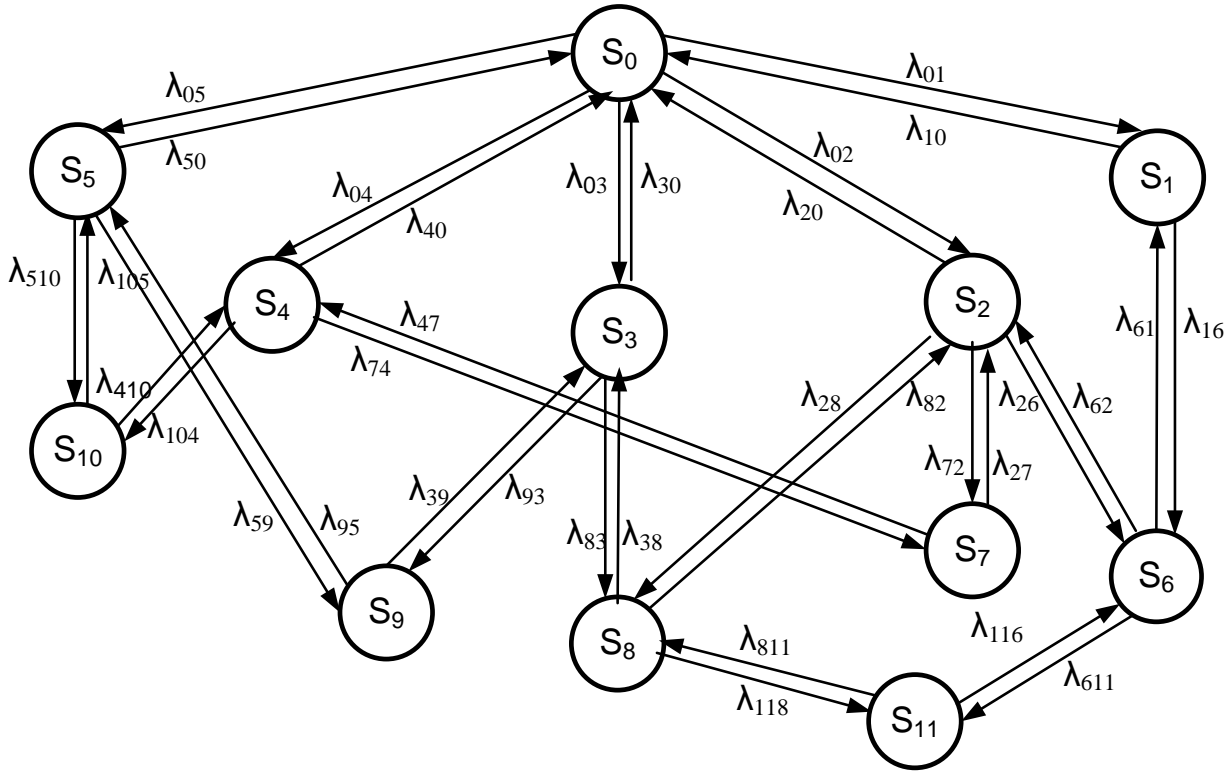


Рисунок 1 – Граф станів роботи вантажної станції вальцівних цехів металургійного комбінату

Попередній аналіз розглянутих потоків підтвердив, що вони відповідають пуассоновим потокам і систему (S) представляється можливим досліджувати з застосуванням апарату теорії ланцюгів Маркова з неперервним часом. Для опису процесу функціонування станції необхідно мати: перелік усіх можливих станів системи, інтенсивності всіх потоків подій, під впливом яких відбуваються переходи зі стану в стан і стан системи у початковий момент часу при ($t = 0$).

Аналіз наведеної системи (S) і розрахунок ймовірностей ($P_i(t)$) знаходження системи в i -му стані в момент часу t при відомих ймовірності станів у початковий момент часу $t = 0$ приводиться до знаходження та аналізу рішень системи рівнянь Колмогорова.

$$\frac{dP_i(t)}{dt} = \sum_{j=0}^n P_j(t)\lambda_{ji}(t) - P_i \sum_{j=0}^n \lambda_{ij}(t) \quad \text{при } i=1,2,\dots,n \quad (1)$$

Якщо позначити через ($P_i(t)$) ймовірність того, що в момент часу $t \geq 0$, система буде перебувати в стані (S_i), то ймовірності ($P_i(t)$) пов'язані між собою наступною системою рівнянь Колмогорова.

Транспортні технології

$$\left\{ \begin{array}{l} P_0' = -(\lambda_{01} + \lambda_{02} + \lambda_{03} + \lambda_{04} + \lambda_{05}) * P_0 + \lambda_{10} * P_1 + \lambda_{20} * P_2 + \lambda_{30} * P_3 + \lambda_{40} * P_4 + \lambda_{50} * P_5 \\ P_1' = \lambda_{01} * P_0 - (\lambda_{10} + \lambda_{16}) * P_1 + \lambda_{61} * P_6 \\ P_2' = \lambda_{02} * P_0 - (\lambda_{20} + \lambda_{26} + \lambda_{28}) * P_2 + \lambda_{62} * P_6 + \lambda_{82} * P_8 \\ P_3' = \lambda_{03} * P_0 - (\lambda_{30} + \lambda_{38} + \lambda_{39}) * P_3 + \lambda_{83} * P_8 + \lambda_{93} * P_9 \\ P_4' = \lambda_{04} * P_0 - (\lambda_{40} + \lambda_{47} + \lambda_{410}) * P_4 + \lambda_{74} * P_7 + \lambda_{104} * P_{10} \\ P_5' = \lambda_{05} * P_0 - (\lambda_{50} + \lambda_{59} + \lambda_{510}) * P_5 + \lambda_{94} * P_9 + \lambda_{105} * P_{10} \\ P_6' = \lambda_{16} * P_1 + \lambda_{26} * P_2 - (\lambda_{61} + \lambda_{62} + \lambda_{611}) * P_6 + \lambda_{116} * P_{11} \\ P_7' = \lambda_{27} * P_2 + \lambda_{47} * P_7 - (\lambda_{72} + \lambda_{74}) * P_7 \\ P_8' = \lambda_{28} * P_2 + \lambda_{38} * P_3 - (\lambda_{82} + \lambda_{83} + \lambda_{811}) * P_8 + \lambda_{118} * P_{11} \\ P_9' = \lambda_{39} * P_3 + \lambda_{59} * P_5 - (\lambda_{93} + \lambda_{95}) * P_9 \\ P_{10}' = \lambda_{410} * P_4 + \lambda_{510} * P_5 - (\lambda_{104} + \lambda_{105}) * P_{10} \\ P_{11}' = \lambda_{611} * P_6 + \lambda_{811} * P_8 - (\lambda_{116} + \lambda_{118}) * P_{11} \\ P_0 + P_1 + P_2 + P_3 + P_4 + P_5 + P_6 + P_7 + P_8 + P_9 + P_{10} + P_{11} = 1 \end{array} \right.$$

Система функціонування станцій може розглядатися як ергодична, оскільки для процесу, що протікає в ній, виконуються дві необхідні і достатні умови: граф станів не має жодного стану і жодного підмножини станів без виходу і без входу; усі потоки подій, що переводять систему зі стану в стан, найпростіші з постійними інтенсивностями і для них існує гранична вірогідність $P_i = \lim_{t \rightarrow +\infty} P_i(t)$.

Ці ймовірності визначають частку часу, протягом якого система знаходиться в кожному з станів.

Перед рішенням системи з неї можна виключити одне з одинадцяти перших рівнянь (як наслідок інших).

Оскільки переходи між станами відбуваються під впливом незалежних пуасонівських потоків, стають справедливими співвідношення:

$$\lambda_{01} = \lambda_{26} = \lambda_{38} = \lambda_{47} = \lambda_{510} = \lambda_1 \tag{3}$$

$$\lambda_{02} = \lambda_{16} = \lambda_{39} = \lambda_{410} = \lambda_{811} = \lambda_2 \tag{4}$$

$$\lambda_{03} = \lambda_{27} = \lambda_{59} = \lambda_{611} = \lambda_3 \tag{5}$$

$$\lambda_{04} = \lambda_{28} = \lambda_4 \tag{6}$$

$$\lambda_{05} = \lambda_5 \tag{7}$$

$$\lambda_{10} = \lambda_{62} = \lambda_{83} = \lambda_{74} = \lambda_{105} = \mu_1 \tag{8}$$

$$\lambda_{20} = \lambda_{61} = \lambda_{93} = \lambda_{104} = \lambda_{118} = \mu_2 \tag{9}$$

$$\lambda_{30} = \lambda_{72} = \lambda_{95} = \lambda_{116} = \mu_3 \tag{10}$$

$$\lambda_{40} = \lambda_{82} = \mu_4 \tag{11}$$

$$\lambda_{50} = \mu_5 \tag{12}$$

де λ_i - інтенсивності потоків, що призводять до переходу в стан S_i ($i = 1, 2, 3$);

μ_i - інтенсивності потоків, які виводять систему з цих станів.

Отримана у цьому випадку система рівнянь для граничних ймовірностей має вигляд:

Транспортні технології

$$\left\{ \begin{array}{l} -(\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3 + \lambda_4 + \lambda_5) * P_0 + \mu_1 * P_1 + \mu_2 * P_2 + \mu_3 * P_3 + \mu_4 * P_4 + \mu_5 * P_5 = 0 \\ \lambda_1 * P_0 - (\mu_1 + \lambda_2) * P_1 + \mu_2 * P_6 = 0 \\ \lambda_2 * P_0 - (\mu_2 + \lambda_1 + \lambda_4) * P_2 + \mu_1 * P_6 + \mu_4 * P_8 = 0 \\ \lambda_3 * P_0 - (\mu_3 + \lambda_1 + \lambda_2) * P_3 + \mu_1 * P_8 + \mu_2 * P_9 = 0 \\ \lambda_4 * P_0 - (\mu_4 + \lambda_1 + \lambda_2) * P_4 + \mu_1 * P_7 + \mu_2 * P_9 = 0 \\ \lambda_5 * P_0 - (\mu_5 + \lambda_3 + \lambda_1) * P_5 + \mu_2 * P_9 + \mu_1 * P_{10} = 0 \\ \lambda_2 * P_1 + \lambda_1 * P_2 - (\mu_2 + \mu_1 + \lambda_3) * P_6 + \mu_3 * P_{11} = 0 \\ \lambda_3 * P_2 + \lambda_1 * P_7 - (\mu_3 + \mu_1) * P_7 = 0 \\ \lambda_4 * P_2 + \lambda_2 * P_3 - (\mu_4 + \mu_1 + \lambda_2) * P_8 + \mu_2 * P_{11} = 0 \\ \lambda_2 * P_3 + \lambda_3 * P_5 - (\mu_2 + \mu_3) * P_9 = 0 \\ \lambda_2 * P_4 + \lambda_1 * P_5 - (\mu_2 + \mu_1) * P_{10} = 0 \\ \lambda_3 * P_6 + \lambda_2 * P_8 - (\mu_3 + \mu_2) * P_{11} = 0 \\ P_6 + P_1 + P_2 + P_3 + P_4 + P_5 + P_6 + P_7 + P_8 + P_9 + P_{10} + P_{11} = 1 \end{array} \right.$$

Рішення системи може бути представлено у вигляді:

$$P_0 = \mu_1 * \mu_2 * \mu_3 * \mu_4 * \mu_5 * A \tag{14}$$

$$P_1 = \lambda_1 * \mu_2 * A \tag{15}$$

$$P_2 = \lambda_2 * \mu_2 * \mu_4 * A \tag{16}$$

$$P_3 = \lambda_3 * \mu_1 * \mu_2 * A \tag{17}$$

$$P_4 = \lambda_4 * \mu_1 * \mu_2 * A \tag{18}$$

$$P_5 = \lambda_5 * \mu_2 * \mu_1 * A \tag{19}$$

$$P_6 = \lambda_2 * \lambda_1 * \mu_3 * A \tag{20}$$

$$P_7 = \lambda_3 * \lambda_1 * A \tag{21}$$

$$P_8 = \lambda_4 * \lambda_2 * \mu_2 * A \tag{22}$$

$$P_9 = \lambda_2 * \lambda_3 * A \tag{23}$$

$$P_{10} = \lambda_2 * \lambda_1 * A \tag{24}$$

$$P_{11} = \lambda_3 * \lambda_2 * A \tag{25}$$

де:

$$A = \frac{1}{(\lambda_1 + \mu_1) * (\lambda_2 + \mu_2) * (\lambda_3 + \mu_3) * (\lambda_4 + \mu_4) * (\lambda_5 + \mu_5)} \tag{26}$$

Оптимальні параметри λ і μ знаходимо із умов:

$$\sum_i (n_i'(\lambda) - n_i)^2 \rightarrow \min; \tag{27}$$

$$\sum_i (n_i'(\mu) - n_i)^2 \rightarrow \min. \tag{28}$$

Отримані залежності дозволяють визначити параметри λ і μ розглянутих потоків на цій основі встановити вірогідність та час знаходження станції у кожному зі станів ($S_1, S_2, S_3, \dots, S_{11}$). Застосування теорії масового обслуговування дозволяє використовувати інтенсивність переходів продовження обслуговування у кожному із станів функціонування вантажної станції.

Транспортні технології

Апробацію даної методики виконано на базі металургійного підприємства повного циклу, яке включає три переробки: аглодоменну, сталетопну, вальцівну. Згідно класифікації схем генерального плану, у залежності від розташування трьох основних переробок металургійного виробництва на комбінаті є 26 розподільних пунктів, 9 залізничних районів. Розміщення основних цехів комбінату на промисловому майданчику забезпечує поточність виробництва і обслуговується станціями комбінату. Основною продукцією комбінату є гарячекатаний і холоднокатаний сталевий лист широкого сортаменту. Саме тому, актуальним є питання обслуговування залізничним транспортом цехів з випуску вальцівки. На сонові зібраних та проаналізованих даних комбінату за останні 2 роки, було встановлено, що гранична вірогідність роботи вантажної станції у штатному режимі $P_0(S_0)$ становить тільки 21,8 % часу роботи $T_0 = 106$ год.; тривалість переробки маршруту та технологічний час $t_{\text{техн}} = 4,21$; гранична вірогідність роботи вантажної станції при стані $P_3(S_3)$ «затримок у поданні поїзного тепловозу» становить 24,63 %; час роботи $T_3 = 397,5$ год.; тривалість переробки маршруту – 6,24 год.; гранична вірогідність роботи вантажної станції при стані $P_4(S_4)$ «затримок у поданні маневрового тепловозу» становить 24,47 %; час роботи $T_4 = 353,5$ год., а тривалість переробки маршруту – 6,02 год.; гранична вірогідність роботи вантажної станції при стані $P_5(S_5)$ «емнісні можливості станцій» становить 25,9 %; час роботи $T_4 = 442,8$ год.; тривалість переробки маршруту – 8,4 год.

Незначною величиною у роботі станції характеризуються граничні вірогідності усіх інших станів: відсутність вагонів під завантаження, затримка з оформленням документів, а також у сумарних станах викликаних подіями $P_6(S_6), \dots, P_n(S_n)$ відповідно.

ВИСНОВКИ

На основі виконаного аналізу та отриманих результатів можна зробити наступні висновки.

1. Виконано аналіз наукових та практичних робіт провідних спеціалістів у даній галузі, який показав, що питання у напрямку визначення часу знаходження вантажних вагонів на вантажних станціях промислового підприємства висвітлене неповністю та потребує більш уважного поелементного розгляду.

2. Розроблена ймовірнісна модель доцільності визначення часу обслуговування вантажних вагонів на цих станціях, у якій використано апарат теорії Марківських процесів. Це дозволило зробити якісну оцінку динаміки роботи станції та ідентифікувати основні стани, та встановити вірогідність показників, які впливають на загальну роботу кожної вантажної станції окремо.

3. Виконано поелементний аналіз експлуатаційної роботи по кожній вантажній станції, який показав, що головним та домінуючим фактором визначаючим динаміку роботи вантажної станції виступають наступні стани: затримка у поданні поїзного тепловозу, затримка у поданні маневрового тепловозу, емнісні можливості станцій (гранична вірогідність роботи – 74,7 %).

4. У подальшому доцільно зайнятися питаннями логістики взаємодії між станцією та цехом, який обслуговує дана станція. Також необхідно приділити більше уваги не тільки питанням у роботі самої станції, так і проблемам затримки вантажних вагонів за самими цехами.

Транспортні технології

Список використаних джерел:

1. Сушарін, Є. В. Логістичне управління мобільними елементами залізничного транспорту незагального користування : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.22.01 / Сушарін Євген Вікторович. – Харків, 2010. – 23 с.
2. Парунакян, В. Э. Концепция повышения эффективности управления вагонопотоками на предприятии / В. Э. Парунакян, В. А. Бойко, Ю. В. Гусев // Вісник Приазов. держ. техн. ун-ту : зб. наук. праць / ДВНЗ «ПДТУ». – Маріуполь, 2003. – Вип. 13. – С. 264–268.
3. Бутько, Т. В. Формування логістичної моделі обслуговуванні масових вантажів залізничним транспортом незагального користування. Ч. 1 / Т. В. Бутько, Д. В. Ломотько, Є. В. Сушарін // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2010. – № 1. – С. 8–14.
4. Бутько, Т. В. Формування логістичної моделі обслуговуванні масових вантажів залізничним транспортом незагального користування. Ч. 2 / Т. В. Бутько, Д. В. Ломотько, Є. В. Сушарін // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2010. – № 2. – С. 14–19.
5. Ломотько, Д. В. Удосконалення переробки вантажів залізничним транспортом в умовах системи транспортно-експедиційного обслуговування / Д. В. Ломотько, Г. М. Ярмак // Збірник наукових праць УкрДУЗТ. – 2016. – Вип. 161. – С. 5–13.
6. Formation of an automated technology of cargo transportation control on the direction. / T. Butko [et al.] // Eastern-European journal of enterprise technologies. – 2019. – Vol. 1, № 3 (97). – P. 6–13.
7. Butko, T. Devising a method for the automated calculation of train formation plan by employing genetic algorithms / T. Butko, V. Prokhorov, D. Chekhunov // Eastern-European journal of enterprise technologies. – 2017. – Vol. 1, N 3 (85). – P. 55–61.
8. Козаченко, Д. Н. Комплексный анализ железнодорожной инфраструктуры металлургического комбината на основе графоаналитического моделирования / Д. Н. Козаченко, Р. В. Венигора, Н. И. Березовый // Транспортные системы и технологии перевозок. – 2012. – № 4. – С. 55–60.
9. 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.
10. Кирицева, Е. В. Система планирования и управления порожними вагонопотоками на внутривозовских перевозках / Е. В. Кирицева, Ю. В. Гусев // Scientific World Journal. – 2017. – N 15, vol. 2, December. – P. 74–80.
11. Кіріцева, О. В. Спрощена модель визначення слабких місць вагонопотоків металургійного комбінату / О. В. Кіріцева, О. В. Клецька, М. Тимофеєнко // Сучасні енергетичні установки на транспорті і технології та обладнання для їх обслуговування СЕУТТОО-2020 : матеріали 11-ї Міжнар. науково-практ. конф. (Херсон, 08–10 вересня 2020 р.). – Херсон, 2020. – С. 309–310.
12. Кіріцева, О. В. Підхід до визначення ефективних заходів підвищення якості роботи залізничного транспорту металургійного підприємства / О. В. Кіріцева, О. В. Клецька, Г. Л. Новак // Енергоефективність на транспорті : тези доп. міжнар. науково-практ. конф. (Харків, 18–20 листопада 2020 р.). – Харків, 2020. – С. 23–25.
13. Котенко, А. М. Математичні і економіко-математичні моделі технологічних ліній на вантажних станціях : навчальний посібник / А. М. Котенко. – Харків : ХарДАЗТ, 2001. – 107 с.

Кирицева Е. В., Клецкая О. В., Иванченко Д. А., Каращук В. А.

ВЕРОЯТНОСТНАЯ МОДЕЛЬ ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВРЕМЕНИ ОБСЛУЖИВАНИЯ ВАГОНОВ НА МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОМ ПРЕДПРИЯТИИ

В работе рассмотрены функции грузовых станций металлургического комбината, которые обслуживают прокатные цеха. При исследовании динамики работы грузовых станций, обслуживающих прокатные цеха, было установлено, что это последовательная смена состояний во времени, вызванная, как случайным, так и определенным влиянием различных факторов. Работа станций зависит от вида внутренней структуры потока заявлений, числа каналов обслуживания и законов распределения времени обслуживания каналами. Обобщив все эти показатели, сделан вывод, что работа станций отличается нормативами нахождения вагонов на станции, установленными для каждой станции отдельно и различным видом листового проката. Сделанный анализ функционирования грузовых станций с использованием теории Марковского процесса показал, что рассматривать последнее нужно как систему, которая может находиться в одном из одиннадцати возможных состояний работы станции. Исследованы потоки станции и подтверждено, что они соответствуют пуассоновым потокам. Именно поэтому, существующую систему исследовали с применением аппарата теории цепей Маркова с непрерывным временем. Система функционирования станций рассматривается как эргодическая, поскольку для процесса, протекающего в ней, выполняется два необходимых и достаточных условия: граф состояний не имеет никакого состояния и ни подмножества состояний без выхода и без входа; все потоки событий, переводящие систему из состояния в состояние, простейшие с постоянными интенсивностями и для них существует предельная достоверность. Полученные зависимости позволили определить параметры рассмотренных потоков, на этой основе установить вероятность и время нахождения станции в каждом из одиннадцати состояний. Применение теории массового обслуживания позволило использовать интенсивность переходов продолжения обслуживания в каждом из состояний функционирования грузовой станции. Разработана вероятностная модель определения времени нахождения вагонов на металлургическом предприятии. Определены факторы, влияющие на динамику работы грузовой станции.

Ключевые слова: металлургическое предприятие, железнодорожный транспорт необщего пользования, грузовая станция, грузовой вагон, вероятностная модель, аппарат теории цепей Маркова.

Kiritseva O. V., Kletska O. V., Ivanchenko D. A., Karashuk V. O.

PROBABILITY MODEL OF EXPEDIENCE OF DETERMINATION OF WAGON SERVICE TIME AT THE METALLURGICAL ENTERPRISE

The paper considers the functions of the freight stations of the metallurgical plant, which serve the rolling shops. When studying the dynamics of the work of freight stations serving rolling shops, it was found that this is a sequential change of states in time, caused by both random and certain influence of various factors. The work of stations depends on the type of the internal structure of the flow of applications, the number of service channels and the laws of distribution of the service time by the channels. Summarizing all these indicators, it was concluded that the work of the stations differs in the standards for the presence of cars at the station, set for each station separately and by

a different type of sheet metal. The analysis of the functioning of freight stations using the theory of the Markov process showed that the latter should be considered as a system that can be in one of eleven possible states of the station operation. The station flows were investigated and it was confirmed that they correspond to Poisson flows. That is why the existing system was investigated using the apparatus of the theory of Markov chains with continuous time. The system of functioning of stations is considered as ergodic, since two necessary and sufficient conditions are fulfilled for the process taking place in it: the state graph has no state and no subset of states without output and without input; all streams of events that transfer the system from state to state are the simplest with constant intensities and for them there is an ultimate certainty. The obtained dependences made it possible to determine the parameters of the considered flows, on this basis to establish the probability and time of the station being in each of the eleven states. The application of the queuing theory made it possible to use the intensity of service continuation transitions in each of the states of the cargo station operation. A probabilistic model has been developed for determining the time spent by cars at a metallurgical enterprise. The factors influencing the dynamics of the work of the cargo station are determined.

Keywords: *metallurgical enterprise, non-public railway transport, freight station, freight car, probabilistic model, Markov chain theory apparatus.*

Стаття надійшла 03.03.2021 р.