

ФУНКЦІОНАЛЬНА МОДЕЛЬ РОБОТИ ТЕХНІЧНОЇ СТАНЦІЇ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ РІЗНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ОБМІНУ ГРУП ВАГОНІВ У ДВОГРУПНИХ ПОЇЗДАХ

Вступ та постановка задачі

Своєчасна доставка вантажів клієнтам є пріоритетною задачею залізничного транспорту України. При цьому головна увага повинна приділятися удосконаленню організації вагонопотоків, як такому напрямку, що не потребує значних капітальних вкладень. Одним з найбільш дієвих заходів щодо удосконалення організації вагонопотоків є формування двогрупних поїздів в оперативних умовах [1].

Для збільшення ефекту від застосування двогрупних поїздів, в практиці роботи залізниць, застосовуються різні технології обміну груп вагонів на попутній технічній станції. Але кожна станція має свою техніко-технологічну характеристику. Отже необхідно визначати найбільш раціональну технологію обміну груп вагонів, а також враховувати поточну оперативну ситуацію та прогноз надходження вагонів на дану станцію, що потребує відповідних досліджень які неможливо виконати на реальних станціях.

Дослідження роботи залізничних станцій було в числі перших сфер застосування ЕОМ в експлуатації залізниць. Широке застосування здобуло імітаційне моделювання, яке є потужним засобом для дослідження процесів, що відбуваються на залізничному транспорті. Крім цього імітаційне моделювання забезпечує виконання таких експериментів, які неможливо виконати на реальних об'єктах залізничного транспорту з різних причин. Отже виникає необхідність в розробці відповідних імітаційних моделей роботи залізничних станцій, які дозволять виконувати дослідження, пов'язані з різними варіантами технології обміну груп вагонів у двогрупних поїздах в оперативних умовах.

Аналіз досліджень і публікацій

У багатьох роботах для моделювання станцій пропонується використовувати апарат теорії масового обслуговування. В роботі [2] розглядається можливість застосування методів теорії масового обслуговування для дослі-

дження роботи парку прийому сортувальної станції. Недоліком даної роботи є те, що потік заявок (поїздів, вагонів), що надходять для обслуговування, розглядається як найпростіший, а інтенсивність обслуговування прийнята постійною, що не відповідає реальним умовам роботи залізничних станцій. За допомогою імітаційної моделі, розробленої на основі теорії масового обслуговування, вирішуються питання прогнозування і планування роботи залізничних станцій в роботах [3, 4]. Крім того, розглядається можливість застосування розробленої моделі для нормування різних показників роботи станції, а також аналізу якості роботи оперативної зміни [4]. З цією метою, на початку зміни за прогнозними початковими даними про підхід поїздів і вагонів виконується моделювання роботи станції. Аналіз виконується на основі порівняння показників роботи станції, отриманих за наслідками роботи зміни і в результаті моделювання роботи станції.

Подальший розвиток засобів обчислювальної техніки обумовив інтенсифікацію розвитку систем імітаційного моделювання. В УрДУШСі було розроблено систему моделювання роботи сортувальної станції ІСТРА [5]. Імітаційна модель використовується для оперативного планування роботи станції в умовах, що змінюються. Крім того, при використанні даної системи на станції є можливість отримання оперативної інформації безпосередньо з АСОУП. У загальному вигляді модель станції характеризується безліччю елементів, операцій і оператором управління, який описує логічну послідовність виконання операцій залежно від стану моделі. Елементи моделі поділяються на технологічні, інформаційні і керуючі. Технологічні елементи відображають реальні пристрої, інформаційні, – імітують представлення реальних пристроїв в пам'яті диспетчера, керуючі елементи моделюють процеси управління. Оператор управління реалізує ситуаційний принцип, на основі якого моделюється процес ухвалення рішення диспетчером. Операції моделі ув'язуються між собою за допомогою «Таб-

лиці взаємозв'язку операцій». В ній указуються послідовність і умови виконання технологічних, інформаційних і керуючих операцій. При цьому в системі ІСТРА реалізований принцип покрокового моделювання, яке керується подіями.

Одною з основних проблем, що виникають при функціональному моделюванні роботи залізничних станцій, є складність формалізації технологічних процесів обробки поїздів, які можуть суттєво відрізнятися для різних категорій поїздів. Для полегшення й спрощення підготовки до моделювання в ДНУЗТі виконано комплекс робіт, що пов'язані з розробкою методики подання технології виконання основних операцій обробки поїздів та технічного оснащення станцій. Так для формалізації технологічного процесу обробки поїзда в [6] формалізація технологічних процесів обробки об'єктів здійснюється з використанням детермінованого кінцевого автомата, який забезпечує виконання з кожним об'єктом всього комплексу технологічних операцій відповідно до їх взаємної обумовленості.

Використання такого роду моделей дозволяє вирішувати широке коло прикладних задач, направлених на удосконалення роботи залізничних станцій, але вони не можуть бути застосовані для досліджень, в яких необхідно приймати оперативні рішення по керуванню їх роботою. Отже, розроблені моделі дозволяють адекватно моделювати роботу залізничних станцій, але необхідним є подальше їх удосконалення з метою забезпечення виконання досліджень їх функціонування в умовах застосування оперативного керування роботою при застосуванні різних технологій.

Основна частина

При розробці функціональних моделей залізничних станцій, враховуючи їх складну ієрархічну структуру, виділяють декілька рівнів деталізації. На метарівні станція розглядається як система масового обслуговування (СМО), що виконує обслуговування вхідного потоку заявок. На макрорівні виконується моделювання технологічного процесу (ТП) обслуговування потоку заявок. На мікрорівні виконується моделювання обслуговування окремих заявок [7].

Модель, яка наведена в [7], може бути використана для дослідження різних технологій обміну груп вагонів у двогрупних поїздах, але потребує відповідних удосконалень.

До складу удосконаленої ФМС входить

генератор вхідного потоку (ГВП), модель технологічного процесу обслуговування об'єктів (МТП) та модель оперативного керування технологічним процесом станції (МОКТП).

Синхронізація моделей виконується в дискретні моменти системного часу T_c . Структура ФМС та схема взаємодії її моделей наведена на рис. 1.

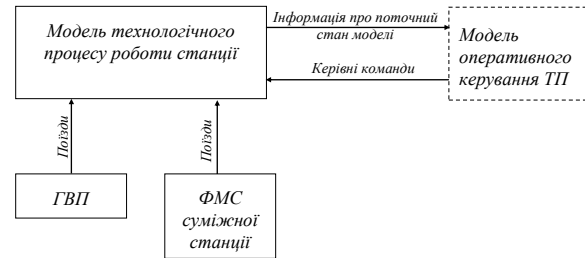


Рис. 1. Структура функціональної моделі технічної станції

Генератор вхідного потоку призначений для моделювання надходження поїздів на станцію з тих підходів, які не входять до складу залізничного напрямку, на якому відбувається формування двогрупних поїздів.

Модель технологічного процесу обслуговування об'єктів призначена для моделювання процесу обслуговування поїздів різних категорій. В МТП технічна станція розглядається як багатофазна, багатоканальна, керована СМО. В наведеній СМО вхідний потік створюють об'єкти, що вимагають обслуговування на станції. Фазами обслуговування є окремі технологічні операції, які виконуються в певній послідовності відповідно до ТП. Тривалості цих операцій моделюються як випадкові величини, параметри яких залежать від характеристик об'єкту. Обслуговуваними пристроями є виконавці технологічних операцій.

ТП обробки об'єктів O_k на станції являє собою комплекс технологічних операцій q_i , кожна з яких повинна бути виконана у певному порядку перед тим, як об'єкт залишить систему. В якості об'єктів, що обробляються в ФМС розглядаються поїзди, локомотиви, маневрові состави та состави, що накопичуються на сортувальних коліях. Кожен об'єкт представляється в моделі за допомогою структури

$$O_k = \{I_s, T_{пр}, \mathbf{P}, \mathbf{B}\}, k=1, 2, \dots, n_o, \quad (1)$$

де I_s – ідентифікатор станції надходження поїзда;

$T_{пр}$ – момент прибуття поїзда на станцію;

\mathbf{P} – вектор параметрів поїзда (категорія, кількість вагонів і т.д.);

V – список параметрів процесу обслуговування поїзда на станції;

n_o – загальна кількість об'єктів.

Одночасно з моментом появи поїзда $T_{вхj}$ моделюються його параметри **P**

$$\mathbf{P} = \{I_o, T_{пр}, a_o, m, L, m_{ВГВ}, m_{я}\}, \quad (2)$$

де I_o – ідентифікатор об'єкту;

a_o – тип об'єкта (категорія поїзда);

m – кількість вагонів у складі поїзда;

L – порядок обслуговування поїзда локомотивами (наявність зміни локомотива);

$m_{ВГВ}$ – кількість вагонів у відчпінній групі (для двогрупних поїздів);

$m_{я}$ – кількість вагонів у ядрі поїзда (для двогрупних поїздів).

З кожним об'єктом на станції виконуються певні операції, що передбачені технологічним процесом (закріплення, технічний та комерційний огляд составів, випробування автогальм, відчеплення поїзного локомотива та ін.). Для цього, при моделюванні кожного об'єкту, визначається список параметрів процесу обслуговування даного об'єкта на станції **V** (1)

$$\mathbf{V} = \{s_o, \mathbf{U}_{вик}, \mathbf{Q}, \mathbf{O}_{оп}\}, \quad (3)$$

де s_o – поточний стан об'єкту, який визначає фазу технологічного процесу його обслуговування;

$\mathbf{U}_{вик}$ – список виконавців, які після закінчення виконання деяких операцій з об'єктом очікують початку виконання інших операцій з цим же об'єктом;

Q – список технологічних операцій, що виконуються з об'єктом в поточний момент часу;

$\mathbf{O}_{оп}$ – множина підпорядкованих об'єктів.

В моделі ТП передбачена можливість моделювання складних об'єктів, які можуть складатися з декількох частин, кожна з яких має свою власну технологію обслуговування (наприклад поїзд, що складається з локомотива та состава). У цьому випадку підпорядковані об'єкти заносяться у список $\mathbf{O}_{оп}$ складного об'єкта.

Фазами обслуговування є окремі операції, які виконуються у відповідності до ТП у встановленій послідовності. Обслуговуючими каналами СМО є виконавці різної спеціалізації (працівники та пристрої, що приймають участь у роботі станції – сигналіст, бригади ПТО та ПКО, маневрові локомотиви та ін.).

В функціональній моделі станції кожна технологічна операція представляється структурою [7]

$$q_i = \{I_w, N_o, \mathbf{U}_q, \mathbf{F}_q, t_q, z_q, s_q\}, i = 1, 2, \dots, n_q \quad (4)$$

де I_w – ідентифікатор шаблону технологічної операції;

N_o – об'єкт з яким виконується операція;

\mathbf{U}_q – список виконавців операції;

\mathbf{F}_q – список умов закінчення технологічної операції;

t_q – тривалість виконання технологічної операції;

z_q – момент закінчення виконання технологічної операції;

s_q – стан виконання технологічної операції;

n_q – загальна кількість операцій, які виконуються з об'єктом.

Параметр s являє собою змінну, що характеризує поточний стан операції q_i для об'єкта O_j . При цьому $s=0$, якщо операція q_i може бути почата з об'єктом O_j і очікує звільнення виконавця відповідної спеціалізації і $s=1$, якщо операція q_i виконується, $s=2$, якщо виконана умова тривалості та операція знаходиться в стані виконання умов її закінчення.

В процесі моделювання роботи станції список **Q** змінюється по закінченню виконання якої-небудь операції з об'єктом. Список виконавців \mathbf{U}_q коригується по мірі їх заняття та звільнення при виконанні операцій з даним об'єктом.

Тривалість виконання кожної операції розглядається як випадкова величина з заданим законом розподілу. Параметри, необхідні для моделювання випадкової величини t при кожній реалізації обробки состава, встановлюються в результаті статистичної обробки даних натурних досліджень.

Кожний виконавець, який працює на станції в МТП представляється структурою [7]

$$E_k = \{I_e, N_e, \gamma, g_e\}, k = 1, 2, \dots, n_e, \quad (5)$$

де I_e – ідентифікатор виконавця;

N_e – назва виконавця;

g_e – показник активності виконавця;

n_e – загальна кількість виконавців, які приймають участь в ТП станції.

Виконавець E_k вважається зайнятим, якщо в поточний момент часу він виконує деяку технологічну операцію (знаходиться у списку \mathbf{U}_q) або знаходиться в очікуванні виконання наступних операцій з цим же об'єктом (список **U**). Для врахування вільних виконавців в МТП введено динамічний список $\mathbf{U}_r = \{I_{e1}, I_{e1}, \dots, I_{em}\}$, (тут m – загальна кількість вільних виконавців), який містить в якості елементів ідентифікатори виконавців, що не зайняті виконанням якої-небудь операції в поточний

момент системного часу T_c . Список U_r змінюється в процесі моделювання роботи станції при зайнятті чи звільненні виконавців. На початку моделювання всі виконавці вважаються вільними ($m=n_e$).

Момент виходу поїзда зі станції $T_{\text{вих}(i-1)}$ визначається за результатами обслуговування заявки в ФМС станції $i-1$. Величина t_{xj} встановлюється відповідно до графіку руху поїздів між даними станціями.

Порядок та моделювання процесу обслуговування заявок в системі описано в [7].

Модель оперативного керування ТП призначена для прийняття рішення щодо застосування певної технології обміну груп вагонів у двогрупному поїзді в залежності від поточної оперативної ситуації та прогнозу надходження вагонів на станцію.

Рішення про застосування певної технології обробки двогрупних поїздів приймає маневровий або станційний диспетчер технічної станції. До складу його задач входить забезпечення найбільш раціональної технології обробки двогрупного поїзда на своїй станції з урахуванням оперативної ситуації та конструктивних особливостей станції.

Інформація, яка необхідна для аналізу варіантів обробки двогрупного поїзда, може бути поділена на зовнішню та внутрішню. До зовнішньої інформації відносяться відомості щодо моменту надходження поїзда на станцію та його складу, яка може бути отримана від поїзного диспетчера або з НАСК ВП УЗ. Внутрішня інформація формується безпосередньо на самій станції. Для забезпечення найбільш якісного планування роботи сортувальної станції необхідна наявність наступної оперативної інформації:

- моменти прибуття поїздів, що надходять із попередньої станції;
- кількість вагонів в кожній з груп двогрупного поїзда та їх розташування у складі поїзда;
- наявність вільних колій в парках станції;
- характеристики відповідної причіпної групи вагонів (кількість вагонів, місце розташування).

Наявність перерахованої інформації надасть можливість завчасно підготуватися до обробки двогрупного поїзда з урахуванням найбільш раціонального використання резервів станції, необхідних для його обробки.

Функціонування МОКТП, що дозволяє застосовувати раціональну технологію обслуговування окремого двогрупного поїзда, опису-

ється процедурою, яка наведена на рис. 2.

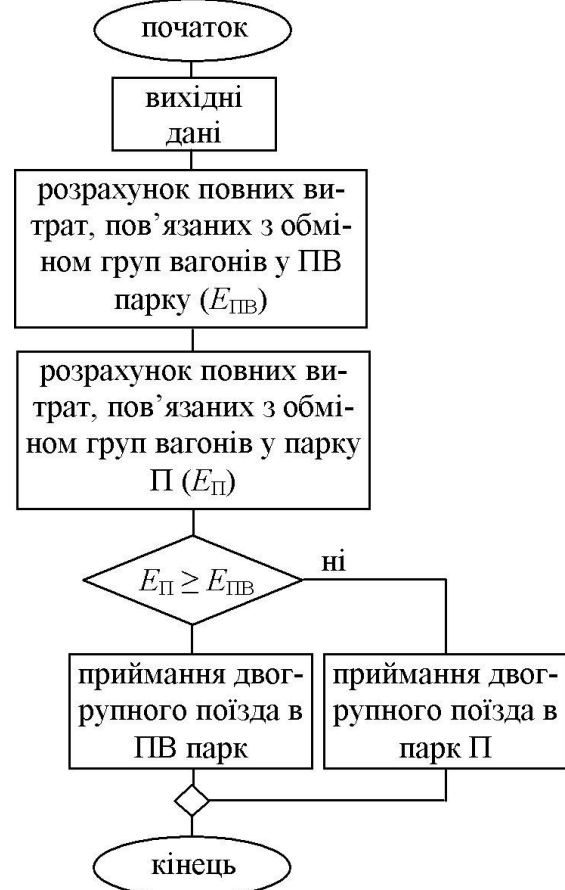


Рис. 2. Процедура визначення раціональної технології обміну груп вагонів

Ініціалізація розробленої процедури відбувається за умови, що в кожному з парків є вільні колії та відповідні виконавці технологічних операцій. Якщо ж в якомусь з парків станції (приймально-відправному або парку прийома) немає вільних колій для прийому двогрупного поїзда, то дана процедура не ініціюється. При цьому двогрупний поїзд приймається у парк з вільними коліями, де з ним виконуються відповідні технологічні операції.

Вихідні дані для даної процедури поділяються на декілька частин:

- параметри прибувшого на станцію поїзда (описуються структурою (1));
- параметри технічної станції;
- оперативний стан станції (вільність колій, виконавців, кількість вагонів попутного призначення на коліях сортувального парку і т.д).

Параметри технічної станції в моделі представляються структурою

$$S_i = \{I_s, \mathbf{T}_{\text{тех}}, \mathbf{T}_{\text{техн}}\}, i=1, 2, \dots, n, \quad (6)$$

де I_s – ідентифікатор (назва) станції;

$\mathbf{T}_{\text{тех}}$ – множина параметрів, які характери-

зують технологію роботи станції з різними категоріями поїздів;

$T_{\text{тех}i}$ – множина параметрів, які характеризують технічне оснащення станції.

Множина параметрів $T_{\text{тех}}$, що входить до складу структури (6) та характеризує технологію роботи технічної станції з різними категоріями поїздів містить, серед інших, варіанти технології обміну груп вагонів для двогрупного поїзда. Кожен з варіантів технології описується структурою

$$T_{\text{тех}i}^{\text{ДВ}} = \{T_{\text{тех}}^{\text{я}}, T_{\text{тех}}^{\text{ВГВ}}, T_{\text{тех}}^{\text{ПГВ}}\}, \quad (7)$$

де $T_{\text{тех}}^{\text{я}}$ – множина параметрів, які описують технологію роботи з вагонами ядра двогрупного поїзда;

$T_{\text{тех}}^{\text{ВГВ}}$ – множина параметрів, які описують технологію роботи з вагонами відчіпної групи двогрупного поїзда;

$T_{\text{тех}}^{\text{ПГВ}}$ – множина параметрів, які описують технологію роботи з вагонами причіпної групи двогрупного поїзда;

i – варіант технології обслуговування двогрупного поїзда ($i=1$ – з використанням приймально-відправного парку, $i=2$ – з використанням парку прийому).

Оперативний стан станції, тобто вільність необхідних виконавців (список U_q), міститься в списку $U_{\text{вик}}$.

Порядок визначення повних витрат для кожного з варіантів технології обслуговування двогрупного поїзда наведено в [1].

ФМС в процесі моделювання повинна імітувати реальний технологічний процес обробки поїздів і маневрових передач, як по структурі, так і за тривалістю виконання окремих операцій. При цьому необхідно враховувати, що тривалість виконання окремих операцій є випадковою величиною з деяким законом розподілу. З метою отримання характеристик законів розподілу випадкових величин тривалості обслуговування поїзда, що надходить у розформування, був виконаний хронометраж процесу обробки 100 поїздів у парку прийому станції Нижньодніпровськ-Вузол. При цьому для кожного поїзда фіксувалися наступні дані: номер поїзда, кількість вагонів в поїзді m , тривалість закріплення $t_{\text{закр}}$, тривалість технічного огляду $t_{\text{то}}$, тривалість прибирання башмаків $t_{\text{приб}}$, тривалість розпуску $t_{\text{р}}$. Слід зазначити, що випадкові величини $t_{\text{закр}}$, $t_{\text{то}}$, $t_{\text{приб}}$, $t_{\text{р}}$ не є незалежними, оскільки тривалість виконання відповідних технологічних операцій

залежить від параметрів составів, які обслуговуються, тобто $t = f(m)$.

Для визначення вказаних залежностей було досліджено 40 різних одно- і двофакторних моделей, в т.ч. лінійні, квадратичні, експоненціальні, логарифмічні і ін. Вибір найбільш відповідної моделі для кожної з даних величин виконувався на основі регресійного аналізу по мінімуму залишкової дисперсії. В результаті дослідження були отримані наступні залежності

$$t_{\text{закр}} = 8,135 - 2,314 \cdot \sqrt{m} + 0,231 \cdot m$$

$$t_{\text{то}} = \frac{1}{0,011 + 0,028 \cdot \sqrt{m} - 0,0034 \cdot m}$$

$$t_{\text{приб}} = 0,910 + 0,151 \cdot \sqrt{m} + 0,022 \cdot m$$

$$t_{\text{р}} = 9,98 + 0,163 \cdot m$$

Таким чином, в процесі моделювання конкретні значення тривалості вказаних технологічних операцій визначаються відповідно до параметрів конкретного об'єкту за допомогою наведених виразів.

Тривалість накопичення составів в сортувальному парку моделюється з використанням результатів досліджень процесу накопичення, які наведено в [8].

Тривалість виконання інших маневрових операцій моделюється відповідно до методики яка викладена в [9], враховуючи що виконання відповідних технологічних операцій залежить від параметрів составів та конструкційних особливостей конкретної станції, тобто:

– для составів свого формування та транзитних поїздів $t = f(m)$;

– для двогрупних поїздів $t = f(m, m_{\text{ПГВ}}(\text{ВГВ}), m_{\text{я}})$.

Перевірка адекватності удосконаленої ФМС була виконана за допомогою U -критерію Уїлкоксона. Для цього було виконано статистичний аналіз наступних випадкових величин, отриманих на реальній станції і методом моделювання:

– тривалість простою поїздів, що розформовуються, в парку прийому;

– тривалість накопичення составів в сортувальному парку;

– тривалість простою поїздів в парку відправлення;

– тривалість знаходження транзитних поїздів в приймально-відправному парку.

За результатами розрахунків доведено, що для кожної з випадкових величин вибірки,

отримані за результатами спостережень на реальній станції та з використанням удосконаленої ФМС, відносяться до однієї генеральної сукупності, що вказує на адекватність побудованої моделі, яка може бути використана для вирішення поставленої задачі.

Висновки

Удосконалена імітаційна модель роботи технічної станції може бути застосована для дослідження, аналізу та оцінки варіантів технології обміну груп вагонів у двогрупних поїздах. При цьому вона дозволяє враховувати вплив оперативного застосування кожної з технологій в залежності від поточної ситуації та прогнозу надходження вагонів на станцію. Структура даної моделі дозволяє досить швидко адаптувати її для інших технічних станцій з урахуванням їх техніко-технологічних особливостей.

ЛІТЕРАТУРА

1. Мазуренко О.О. Визначення ефекту від оперативного формування двогрупних поїздів на базі одnogрупних призначень [Текст] / О.О. Мазуренко // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – 2011. – №6/3(54). – С.23-28.
2. Быкадоров А.В. Парк приема сортировочной станции как двухфазная система массового обслуживания [Текст] / А.В. Быкадоров // Сб. трудов НИИЖТа. – 1973. – №146. – С.63-80.
3. Миркин А.Г. Расчет прогнозных показателей работы сортировочной станции в изменяющихся условиях эксплуатации с использованием имитационного моделирования [Текст] / А.Г. Миркин // Вестник ВНИИЖТа. – 1990. – №3. – С.7-10.
4. Ивницкий В.А. Оперативный анализ работы и нормирование простоев на станции с использованием имитационного моделирования [Текст] / В.А. Ивницкий, А.Г. Миркин // Вестник ВНИИЖТа. – 1990. – №7. – С.7-10.
5. Ковалев И.А. Прогнозирование поездобразования на сортировочной станции с применением имитационного моделирования [Текст] / И.А. Ковалев, А.Э. Александров // Всероссийск. науч.-техн. конф. «Теория и практика имитационного моделирования и создания тренажеров». Сб. материалов. Пенза: Приволж. дом знаний. – 2002. – С.59-63.
6. Бобровский В.И. Техничко-экономическое управление железнодорожными станциями на основе эргатических моделей [Текст] / В.И. Бобровский, Д.Н. Козаченко, Р.В. Вернигора // Информационно-управляющие системы на железнодорожном транспорте. – 2000. – №6. – С.30-73.
7. Бобровский В.И. Функциональное моделирование железнодорожных станций в тренажерах оперативно - диспетчерского персонала [Текст] / В.И. Бобровский, Р.В. Вернигора // Математичне моделювання. – 2004. – №6. – С.17-21.
8. Мазуренко О.О. Визначення характеру надходження вагонів на окремі призначення плану формування [Текст] / О.О. Мазуренко // Збірник наукових праць УкрДАЗТ. – Харків, 2010. – Вип.113. – С. 128-134.
9. Методичні вказівки з розрахунку норм часу на маневрові роботи, які виконуються на залізничному транспорті [Текст] / Міністерство транспорту України, Укрзалізниця. – Київ, 2003. – 81 с.

АНОТАЦІЇ

Наведено загальну структуру імітаційної моделі роботи технічної станції, яка може бути використана для дослідження ефективності різних технологій обміну груп вагонів у двогрупних поїздах.

Ключові слова: імітаційна модель, технічна станція, технологія роботи, група вагонів, двогрупний поїзд.

Приведена общая структура имитационной модели работы технической станции, которая может быть использована для исследования эффективности разных технологий обмена групп вагонов в двухгруппных поездах.

Ключевые слова: имитационная модель, техническая станция, технология работы, группа вагонов, двухгруппный поезд.

Shows the general structure of the simulation model of the technical station, which can be used to investigate the effectiveness of various technologies in the exchange of unit wagons in the two-unit trains.

Key words: simulation model, technical station, the technology works, unit wagons, two-unit train.