

Дніпропетровський національний університет
залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна

ВЕРНИГОРА РОМАН ВІТАЛІЙОВИЧ



УДК 656.212

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ ЗАЛІЗНИЧНИХ
СТАНЦІЙ ЯК ЕРГАТИЧНИХ СИСТЕМ

05.22.20- Експлуатація та ремонт засобів транспорту

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Дніпропетровськ 2008

НТБ
ДНУЗТ

Дисертацією є рукопис

Робота виконана на кафедрі „Станції та вузли” Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна Міністерства транспорту та зв'язку України

Науковий керівник:

доктор технічних наук, професор Бобровський Володимир Ілліч,
Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, завідувач кафедри "Станції та вузли"

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук, професор Шафіг Євген Миконович,
Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, професор кафедри „Електронно-обчислювальні машини”

кандидат технічних наук, доцент Ломотьюк Денис Вікторович,
Українська державна академія залізничного транспорту, доцент кафедри „Управління вантажною та комерційною роботою”

Захист відбудеться "22" лютого 2008р. о 13-00 на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 08.820.02 при Дніпропетровському національному університеті залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна за адресою: 49010, м. Дніпропетровськ, вул. Акад. Лазаряна, 2, к. 314, зал засідань

З
у
49
Кожна ознайомитися в бібліотеці Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна за адресою: вул. Акад. Лазаряна, 2,

Количество

2008р.

Жуковицький І. В.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми.

Залізничні станції є одним з найважливіших елементів транспортної інфраструктури держави. Від якості їх роботи суттєво залежить рівень конкурентноздатності залізничного транспорту на ринку транспортних послуг. В зв'язку з цим особливої актуальності набувають питання удосконалення залізничних станцій та приведення їх у відповідність до сучасних вимог ринкової економіки. При цьому виникає проблема вибору раціонального комплексу заходів, спрямованих на удосконалення конструкції, технічних та технологічних параметрів залізничних станцій з урахуванням їх місця та ролі у системі організації вагонопотоків на мережі залізниць України. Масштабність та значення планованих з цією метою організаційно-технічних заходів висувають підвищені вимоги до якості проектних рішень та потребують їх достовірної кількісної оцінки. Не менш важливою складовою комплексної проблеми удосконалення станцій є підвищення ефективності ергатичної системи керування, основною ланкою якої є оперативно-диспетчерський персонал станцій.

Ефективним засобом аналізу та оцінки показників функціонування станцій, їх техніко-технологічних та економічних параметрів є імітаційне моделювання станційних процесів на ЕОМ. Як показує аналіз, існуючі моделі станцій, як правило, орієнтовані на вирішення вузькоспеціалізованих задач і в багатьох випадках – тільки для конкретної станції. Крім того, в цих моделях недостатньо уваги приділяється питанням керування технологічними процесами станцій. Разом з тим, ефективність функціонування станцій в значній мірі залежить від якості оперативного керування, яке здійснює диспетчерський апарат. В той же час, в існуючих моделях станцій управлінська діяльність диспетчерського персоналу практично не враховується, що не забезпечує достатній рівень адекватності цих моделей. В цьому зв'язку розробка методів підвищення ефективності функціонування залізничних станцій як ергатичних систем на основі їх імітаційного моделювання представляє собою важливу науково-практичну задачу. Таким чином, тема дисертації, що присвячена вирішенню даної задачі, є досить актуальною.

Зв'язок теми з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота виконана у відповідності з пріоритетними напрямками розвитку залізничної галузі, які визначені у Державній програмі реформування залізничного транспорту (розпорядження Кабінету Міністрів України від 26.12.2006 №651-р), а також пов'язана з НДР, що виконані Дніпропетровським національним університетом залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна для Придніпровської залізниці: „Комп'ютерний тренажер для підготовки ДСП станції Нижньодніпровськ-Вузол” (договір №43.14.02.03, №ДР 0103U008726) та „Автоматизація проектування залізничних станцій” (договір №43.00.05.06, №ДР 0105U001800), а також Східним науковим центром Транспортної академії України: „Комп'ютерний тренажер для підготовки ДСП станцій Одеської залізниці” (договір №02/04-СНЦ) та „Комп'ютерний тренажер ДСП для підготовки студентів Миколаївського технікуму залізничного транспорту” (договір №26/05-СНЦ).

66.272

Мета і задачі дослідження. Метою дисертаційної роботи є підвищення ефективності функціонування залізничних станцій за рахунок удосконалення їх технічного оснащення, технології роботи та ергатичної системи керування на основі системного підходу. Засобом для досягнення зазначеної мети є функціональне моделювання станційних процесів, що використовується для кількісної оцінки можливих варіантів удосконалення конструкції та технології роботи станцій, а також для створення імітаційних тренажерів, що є ефективним інструментом удосконалення ергатичної системи оперативного керування станцій. У зв'язку з цим у дисертації були поставлені та вирішені наступні задачі:

1. Аналіз сучасних методів дослідження та оцінки ефективності функціонування залізничних станцій.
2. Розробка методики побудови ергатичних функціональних моделей залізничних станцій для дослідження станційних процесів.
3. Розробка методики ідентифікації функціональних моделей станцій.
4. Формалізація задачі оптимізації техніко-технологічних параметрів залізничних станцій та її вирішення з використанням методів векторної оптимізації.
5. Розробка методики побудови імітаційних тренажерів на базі сучасних ЕОМ для підготовки диспетчерського персоналу залізничних станцій.
6. Розробка методики формалізованої оцінки рівня професійної підготовки диспетчерського персоналу станцій на основі сучасних математичних методів класифікації.

Об'єктом дослідження є процес функціонування залізничних станцій.
Предмет дослідження – конструкція, технологія та система керування станцій.

Методи дослідження. Теорія графів, методи імітаційного моделювання, теорія масового обслуговування, теорія кінцевих автоматів, що використані для розробки методики побудови ергатичних функціональних моделей станцій.

Методи теорії ймовірностей, математичної статистики та регресійного аналізу використані для ідентифікації моделі станції та оцінки її адекватності.

Методи векторної оптимізації, що використані при розробці методики оптимізації техніко-технологічних параметрів залізничних станцій.

На основі методів дискримінантного та кластерного аналізу розроблено методику оцінки рівня підготовки оперативно-диспетчерського персоналу залізничних станцій з використанням імітаційних тренажерів.

Наукова новизна отриманих результатів полягає в наступному:

1) Вперше створено функціональну ергатичну модель залізничної станції, у якій людина приймає безпосередню участь у процесі моделювання, виконуючи функції диспетчера. Використання таких моделей дозволяє врахувати управлінську діяльність персоналу (людський фактор) при моделюванні роботи станції і за рахунок цього підвищити достовірність отриманих результатів.

2) Вперше технологічний процес роботи станції формалізовано на основі детермінованого скінченного автомату, що дозволяє адекватно моделювати функціонування залізничних станцій всіх типів без обмежень по складності та структурі технологічного процесу та забезпечує можливість інтерактивної участі людини-диспетчера у процесі моделювання.

НТБ
ДНУЗТ

3) Вперше формалізовано та вирішено задачу удосконалення техніко-технологічних параметрів станцій як задачу векторної оптимізації, що дозволяє визначати раціональний комплекс заходів, спрямованих на удосконалення конструкції та технології роботи станцій, та приймати обґрунтоване рішення з урахуванням вартості проекту та ефекту від його реалізації.

4) Вперше запропоновано критерій оцінки рівня професійної підготовки диспетчерського персоналу залізничних станцій, який базується на методах дискримінантного та кластерного аналізу. Визначення критерію здійснюється з використанням імітаційних тренажерів і дозволяє отримати об'єктивну оцінку функціональної готовності персоналу станцій, пов'язаного з оперативним керуванням їх роботою.

Практичне значення отриманих результатів. Наукові результати, отримані у дисертаційній роботі, а також розроблені моделі та методи можуть бути використані при створенні автоматизованих систем підтримки прийняття рішень для оцінки варіантів удосконалення конструкції, технології роботи та системи керування станцій, при розробці АРМ диспетчерського персоналу станцій для вирішення задач оперативного планування та управління, при побудові комп'ютерних тренажерів для підготовки оперативно-диспетчерського персоналу станцій. Ергатичні моделі залізничних станцій, побудовані на основі розробленої методики, доцільно використовувати для прогнозування показників функціонування залізничних станцій у різних умовах роботи. В даний час отримані результати використані:

1. При створенні імітаційних комп'ютерних тренажерів для підготовки ДСП станцій Нижньодніпровськ-Вузол Придніпровської залізниці, Одеса-Сортувальна та Миколаїв-Сортувальний Одеської залізниці.

2. При розробці рекомендацій щодо удосконалення конструкції та технології роботи парної підсистеми розформування станції Нижньодніпровськ-Вузол Придніпровської залізниці.

3. В учбовому процесі при підготовці студентів факультету „Управління процесами перевезень” та підвищенні кваліфікації слухачів ІПО ДНУЗТу за допомогою імітаційних тренажерів.

Практичне впровадження результатів роботи підтверджується відповідними документами, що наведені у додатках до дисертації.

Особистий внесок здобувача. Всі результати теоретичних та експериментальних досліджень, наведені в роботі, отримані автором самостійно. В роботах, опублікованих у співавторстві, особистий внесок автора полягає у наступному. В статті [1] розроблена математична модель управління стрілками та світлофорами залізничних станцій. В статті [2] розроблена методика побудови інформаційної моделі в тренажері ДСП та запропонована методика оцінки рівня підготовки персоналу з використанням тренажера. В роботі [3] розроблена структура ергатичної моделі залізничної станції. В статті [4] сформульовано принципи побудови моделі технологічного процесу роботи станції на основі теорії скінченних автоматів. В статті [5] отримані та проаналізовані результати використання розробленої ергатичної моделі при удосконаленні конструкції підсистеми розформування сорту-

вальної станції. В статті [6] запропоновано методику удосконалення техніко-технологічних параметрів залізничних станцій на основі методів векторної оптимізації, сформульовано векторний критерій оптимізації та отримані практичні результати для однієї зі станцій України.

Апробація результатів дисертації. Основні положення дисертаційної роботи доповідалися та були схвалені на міждержавній науково-методичній конференції "Комп'ютерне моделювання" (Дніпродзержинськ, 2000 р.); на 15-й, 16-й та 17-й міжнародних школах-семінарах "Перспективні системи керування на залізничному, промисловому і міському транспорті" (Алушта, 2002, 2003, 2004 рр.); на III-й міжнародній науковій конференції "Проблеми економіки транспорту" (Дніпропетровськ, ДНУЗТ, 2003 р.); на I-й та II-й науково-практичних конференціях „Проблеми та перспективи розвитку транспортних систем” (Київ, КУЕТТ, 2003 та 2004 рр.); на науковому семінарі “Удосконалення технології перевізного процесу” (Дніпропетровськ, ДНУЗТ, 2004 р.); на 65-й, 66-й та 67-й науково-практичних конференціях «Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту» (Дніпропетровськ, ДНУЗТ, 2005, 2006, 2007 рр.); на наукових семінарах кафедри "Станції та вузли" ДНУЗТ 2000-2007 рр. У повному обсязі дисертація доповідалась і була схвалена у Дніпропетровському національному університеті залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна на міжкафедральному науковому семінарі (2007 р.)

Публікації. За результатами дисертації опубліковано 6 науково-технічних статей у фахових виданнях та 15 тез доповідей на наукових конференціях.

Структура і обсяг роботи. Дисертація складається із вступу, п'яти розділів, висновків і 5 додатків. Повний обсяг роботи становить 230 сторінок; з них основний текст на 171 сторінці, 17 рисунків та 1 таблиця на 15 сторінках, список використаних джерел з 151 найменування на 13 сторінках, додатки на 31 сторінці.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтована актуальність проблеми, сформульовані мета і задачі досліджень, відображені наукова новизна, практичне значення одержаних результатів та особистий внесок автора, наведено відомості про апробацію та публікацію результатів досліджень.

В першому розділі виконано аналіз сучасного стану проблеми підвищення ефективності функціонування залізничних станцій на основі удосконалення їх техніко-технологічних параметрів та ергатичної системи керування. Розглянуто вітчизняний та закордонний досвід у моделюванні станційних процесів та створенні автоматизованих навчальних систем для підготовки персоналу залізниць.

Сучасні ринкові умови роботи залізниць України висувають якісно нові вимоги до рівня наданих послуг по перевезенню вантажів і пасажирів. Рівень конкурентноздатності і привабливості залізниць на ринку транспортних послуг у значній мірі залежить від якості роботи залізничних станцій. В даний час на мережі залізниць України функціонує близько 1,5 тисячі станцій і спорудження нових є економічно не доцільним. В зв'язку з цим необхідно розробити комплекс заходів щодо удосконалення конструкції і технології роботи існуючих станцій.

При цьому виникає проблема отримання достовірної кількісної та якісної оцінки планованих заходів. Ефективним засобом аналізу й оцінки показників функціонування станцій у різних умовах, прогнозування їх техніко-технологічних і економічних параметрів є математичні та імітаційні моделі, що у сполученні із сучасними засобами обчислювальної техніки є потужним інструментом для дослідження станцій і оптимізації їх роботи.

Досвід використання методів моделювання для дослідження та удосконалення роботи станцій є досить значним. Суттєвий внесок у становлення та розвиток теорії моделювання станційних процесів у різний час внесли вчені: В.М. Акулінічев, О.В. Бикадоров, В.І. Бобровський, А.А. Босов, Т.В. Бутько, П.С. Грунтов, І.В. Жуковийський, Г.І. Загарій, Д.М. Козаченко, А.М. Котенко, Д.В. Ломотько, Ю.О. Муха, Є.В. Нагорний, В.Я. Негрей, В.О. Персіанов, М.В. Правдін, І.Б. Сотніков, Є.О. Сотніков, К.К. Таль, М.І. Федотов, Н.Н. Шабалін, Є.М. Шафіт, М.Р. Ющенко та інші.

Аналіз робіт по моделюванню залізничних станцій показав, що суттєвим недоліком існуючих моделей є те, що в них або взагалі не враховується, або досить спрощено моделюється діяльність оперативно-диспетчерського персоналу (ОДП). Разом з тим, ефективність функціонування станції залежить не тільки від рівня її технічного оснащення і технології роботи, а й від діючої системи керування, основною ланкою якої є людина-диспетчер. Неврахування цього фактору при моделюванні може привести до одержання неточних результатів і, в кінцевому результаті, до прийняття не оптимального чи, навіть, помилкового рішення.

Для усунення вказаних недоліків при виконанні досліджень доцільно створити ергатичні функціональні моделі залізничних станцій, у яких людина бере безпосередню участь у моделюванні, виконуючи функції ОДП. При цьому методика побудови таких моделей повинна забезпечувати простоту та універсальність представлення вихідних даних за рахунок ускладнення внутрішньої організації програмних комплексів. Такий підхід дозволить значно спростити створення моделей для конкретних станцій і, таким чином, суттєво розширити коло науково-практичних задач, що можуть бути вирішені з їх використанням. За допомогою вказаних моделей можливо отримувати оцінки показників роботи станцій в різних експлуатаційних умовах; при цьому для визначення найбільш ефективних варіантів організації роботи станцій необхідно розробити методику оптимізації їх техніко-технологічних параметрів.

Комплексний підхід при плануванні заходів, спрямованих на удосконалення залізничних станцій, повинен передбачати не тільки зміни в їх конструкції та технології роботи, але й підвищення ефективності ергатичної системи оперативного керування за рахунок навчання та підвищення кваліфікації ОДП станцій. Ефективним засобом покращення якості підготовки ОДП є імітаційні тренажери на базі сучасних ЕОМ. Слід зазначити, що проблемі створення ефективних засобів підготовки ОДП у вітчизняній залізничній науці приділялося недостатньо уваги. Серед дослідницьких робіт, присвячених даному питанню, особливий інтерес викликають праці Л.Г. Аверьянова, Бернардо дел ріо Салседа, В.П. Гауса, Г.Ф. Пахомової, М.А. Сапунова, Х.Н. Тімергаліна, Є.В. Тітова.

НТБ
ДНУЗТ

Враховуючи практичну відсутність в Україні ефективних тренажерних систем для підготовки диспетчерського персоналу залізниць, в дисертації була поставлена задача на основі принципів ергатичного функціонального моделювання станційних процесів розробити структуру та методику побудови імітаційних комп'ютерних тренажерів для підготовки ОДП станції, а також методику оцінки рівня професійної підготовки ОДП за допомогою таких тренажерів.

В другому розділі сформульовано основні принципи та розроблено методику побудови функціональних ергатичних моделей залізничних станцій.

Залізнична станція розглядається як складна керована система масового обслуговування (СМО), що складається з множини різних елементів, які у процесі роботи тісно взаємодіють між собою, впливаючи один на одного. Тому функціональна модель станції (ФМС) повинна відображати як структуру станції, так і взаємодію її окремих елементів.

В цьому зв'язку для побудови функціональних ергатичних моделей станцій, орієнтованих на вирішення задач різного класу, були розроблені наступні універсальні моделі їх елементів: *модель колійного розвитку станції (МКР)*, *модель системи керування пересуваннями рухомого складу (МКП)*, *модель руху транспортних об'єктів (МР)*, *модель технологічного процесу (МТП)*, *інформаційна модель (ІМ)*. Структура ФМС з відображенням взаємодії окремих моделей наведена на рис. 1.

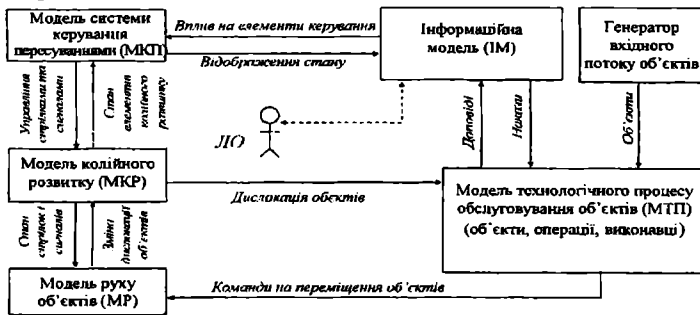


Рис. 1. Структура функціональної ергатичної моделі залізничної станції

Всі моделі реалізовані на ЕОМ у вигляді окремих програмних модулів, побудованих з використанням об'єктно-орієнтованого підходу. Синхронізація моделей виконується в дискретні моменти системного часу T_c за допомогою спеціально розробленої системи повідомлень. Така організація дозволяє легко модифікувати ФМС відповідно до конструкції і технології конкретної станції та в залежності від характеру поставленої задачі. Функції системи оперативного керування роботою станції в процесі моделювання виконує людина-диспетчер (ЛД).

Модель колійного розвитку (МКР) станції використовується для представлення геометричних параметрів її плану, відображення поточного стану стрілочних переводів і положення рухомого складу на коліях станції. Для реалізації вказаних функцій МКР включає *геометричну модель плану колійного розвитку* і *модель заняття колійних ділянок*.

Геометрична модель плану колійного розвитку побудована на основі орієнтованого зваженого графа $G(V, E)$ і відображає склад елементів станції (ділянки колій, стрілочні переводи, світлофори, кінці колій, ізолювані стики), їх взаємозв'язки, геометричні розміри та поточний стан. В графі G виділено три підмножини вершин: V^S , V^C , V^Z . Вершини $v_i \in V^S$ відповідають центрам стрілочних переводів (ЦП); вершини $v_i \in V^C$ – світлофорам (СВ); вершини $v_i \in V^Z$ – ізолюваним стикам та кінцям колій. Для розділу множини вершин V на підмножини кожній з них виділено непересічні групи номерів: $N^S = \{1, \dots, 199\}$, $N^C = \{200, \dots, 399\}$, $N^Z = \{400, \dots, 999\}$. Дугам графа $e \in E$ поставлені у відповідність ділянки колій між окремими вершинами.

У пам'яті ЕОМ граф G представляється списком дуг. При цьому кожна дуга графа позначається упорядкованою парою вершин $e = (v \rightarrow u)$, де v – початкова, а u – кінцева вершини; при цьому прийнято, що всі дуги орієнтовані зліва направо. Кожна дуга $e \in E$ характеризується довжиною l відповідної ділянки колій.

Вершинам підмножини $v_i \in V^S$ (ЦП) поставлені у відповідність наступні параметри: s – положення стрілки; q_s – напрямок укладання стрілки (0 – пошперний, 1 – протипершний); e_1, e_2, e_3 – дуги графа, що інцидентні вершині v_i та відповідають ділянкам колій у напрямках рамних рейок, а також прямої і бокової колій хрестовини. Вершинам $v_i \in V^C$ (СВ) поставлено у відповідність напрямком відповідного світлофора q_s (0 – парний світлофор, 1 – непарний). Для прикладу на рис.2 наведено фрагмент схеми станції і відповідний їй граф $G(V, E)$.

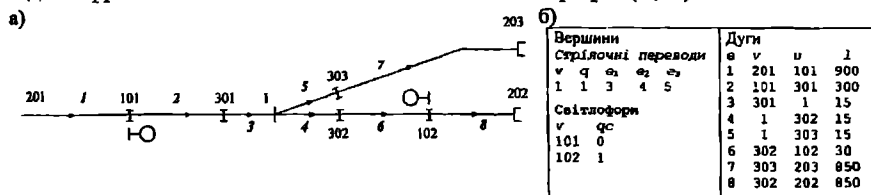


Рис. 2. Геометрична модель колійного розвитку станції: а) схема колійного розвитку; б) формалізоване представлення графа $G(V, E)$ в ЕОМ

Модель зайняття колійних ділянок (МЗК) містить відомості про поточне положення об'єктів рухомого складу на коліях станції. Це дозволяє контролювати фактичний стан кожної колійної ділянки (зайнята/вільна), ідентифікувати розташовані на ній об'єкти і моделювати їх рух. Для реалізації МЗК використовується динамічно поновлюваний список, кожний з елементів якого містить інформацію про дислокацію певного об'єкта рухомого складу. На кожному кроці системного часу T_c здійснюється оновлення моделі.

Модель системи керування пересуваннями рухомого складу (МКП) використовується для моделювання технологічних функцій станційних систем автоматики і телемеханіки, що забезпечують регулювання руху поїздів і маневрових составів. МКП контролює стан колійних та стрілочних ізолюваних секцій (ІС) станції, імітує переведення стрілок і перемикання світлофорів по маршрутам руху, а також забезпечує відображення їх поточного стану в інформаційній моделі.

МКП побудована на основі орієнтованого зваженого графа $D(U, Q)$, що ві-

дображає топологічні зв'язки між елементами системи електричної централізації (ЕЦ). Множина вершин U включає дві підмножини: стрілочні переводи U^S та світлофори і ізолювані стики U^C ; кожній з них виділені непересічні групи номерів: $I^S = \{1, \dots, 199\}$, $I^C = \{201, \dots, 399\}$. Дугам $q_i \in Q$ відповідають ділянки колій МКР, що входять до складу ізолюваних секцій (стрілочних чи колійних). В зв'язку з цим в МКП передбачається множина R , кожний елемент якої r_j відповідає певній ізолюваній секції системи ЕЦ. Кожному елементу $r_j \in R$ поставлено у відповідність список w номерів колійних ділянок МКР, що входять до її складу. При визначенні поточного стану кожної ІС за допомогою відповідного запиту до МКР перевіряється стан колійних ділянок, номери яких містяться у списку w . У пам'яті ЕОМ граф D представляється списками інцидентності його вершин. При цьому для можливості поділу маршрутів парного і непарного напрямку, для кожної вершини графа D ставляться у відповідність два списки суміжних з нею вершин (u_p, u_n), що інцидентні їй, відповідно, у парному та непарному напрямках.

Для моделювання функцій станційної автоматики граф D доповнюється списками технічних параметрів, що характеризують елементи станції (стрілочні переводи, світлофори, ізолювані секції) і їх функціональні зв'язки. На рис. 3 наведено фрагмент схеми станції з виділеними ІС і вершинами відповідного графа D , а також його формалізоване представлення в ЕОМ.

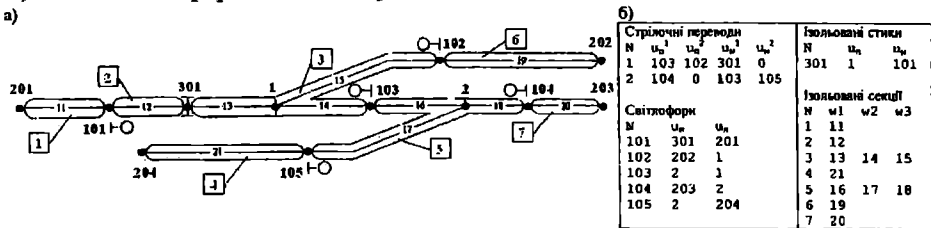


Рис. 3. Модель системи керування пересуваннями: а) схема колійного розвитку; б) формалізоване представлення відповідного графа $D(U, Q)$ в ЕОМ

Маршрут руху представляє собою орієнтований шлях на графі, початковою і кінцевою точками якого є вершини множини U^C (світлофори). При побудові маршруту відбувається обхід графа D у напрямку, що відповідає напрямку початкового світлофора. При цьому перевіряється стан ІС по маршруту та правильність положення стрілочних переводів. Розроблена методика побудови МКП передбачає можливість як ручного, так і маршрутного переведення стрілок для приготування маршруту руху. Керування стрілками та сигналами в процесі моделювання виконує людина-диспетчер за допомогою відповідних моторних елементів, передбачених в інформаційній моделі. На кожному кроці системного часу ΔT_c МКП контролює поточний стан всіх елементів; зміна стану будь-якого елемента відповідним чином відображається в ІМ.

Модель руху транспортних об'єктів призначена для імітації пересувань одиниць рухомого складу в межах станції та на підходах до неї. При цьому використовуються дані про параметри об'єктів та інформація про поточний стан елементів станції (стрілок, світлофорів, колійних ділянок). Для моделювання руху

об'єктів запропонована методика, що базується на припущенні про рівноприскорений (рівноуповільнений) характер пересувань. На кожному кроці ΔT_c виконується коригування параметрів руху (прискорення та швидкості) кожного рухомого об'єкта, на основі чого визначаються його нові координати.

Модель технологічного процесу (МТП), містить дані про об'єкти, що обслуговуються на станції (локомотиви, поїзди, состави), і використовується для моделювання комплексу операцій їх обробки. В розробленій МТП станція розглядається як керована багатофазна багатоканальна СМО, в якій вхідний потік утворюють об'єкти, що вимагають обслуговування на станції, а фазами обслуговування є окремі технологічні операції (закріплення состава, технічний огляд та ін.), що виконуються в певній послідовності відповідно до технологічного процесу (ТП). Тривалості цих операцій моделюються як випадкові величини, параметри яких залежать від характеристик об'єкту. Обслуговуючими пристроями є виконавці технологічних операцій (маневрові локомотиви, сигналісти, бригади ПТО та ін.). Дисципліну обслуговування (черговість обробки об'єктів) в процесі моделювання встановлює людина-диспетчер в залежності від характеру задачі.

Формалізація ТП обробки об'єктів здійснюється з використанням детермінованого скінченного автомата (СА), який забезпечує виконання з кожним об'єктом всього комплексу технологічних операцій відповідно до їх взаємної обумовленості:

$$A = \{X, Z, S, F_z, F_s\},$$

Вхідний алфавіт X автомата включає дві підмножини вхідних сигналів: $X = \{X_1, X_2\}$; тут X_1 , – зовнішні команди, що надходять від диспетчера для ініціалізації певних технологічних операцій з об'єктом; X_2 – внутрішні сигнали ФМС, що надходять від об'єкта після закінчення кожної технологічної операції.

Кожному символу z_i вихідного алфавіту Z ставиться у відповідність функція Ψ_i , яку повинна виконати ФМС у момент надходження в СА вхідного сигналу x_i . Функції Ψ_i включають набори команд двох типів $\Psi_i = \{K_1, K_2\}$; тут K_1 – список команд ініціалізації окремих технологічних операцій з об'єктом; K_2 – список команд і повідомлень, які повинні бути передані структурним моделям ФМС.

Кожний стан автомата $s_q \in S$ відповідає певному стану ТП обслуговування об'єкту, який характеризується рівнем завершеності кожної технологічної операції (не може бути почата, може бути почата або виконується, закінчена).

Функції виходів F_z і переходів F_s автомата A виконують перетворення вхідної послідовності сигналів $x_j = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ у відповідну вихідну послідовність $z_j = \{z_1, z_2, \dots, z_n\}$ і представляються в ЕОМ у вигляді графа переходів. Вершинами графа поставлені у відповідність стани автомата $s_q \in S$, а дугам – можливі переходи між ними. Для прикладу на рис. 4. наведено граф СА, що моделює ТП обслуговування групи місцевих вагонів в підсистемі розформування.

ТП обслуговування окремого об'єкту моделюється послідовністю переходів СА з одного стану в інший, по мірі виконання передбачених операцій. На початку моделювання ТП обслуговування кожного об'єкту відповідний СА знаходиться в початковому стані s_0 (автомат є ініціальним). Після виконання всіх операцій, передбачених ТП, автомат переходить в кінцевий стан s_k , після чого відповідний об'єкт виключається з системи обслуговування.

НТБ
ДНУЗТ

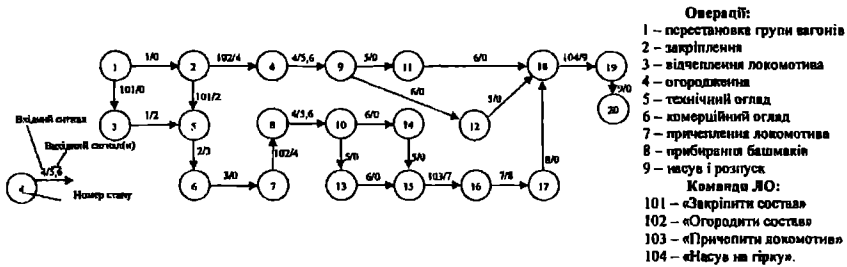


Рис. 4. Граф переходів СА для моделювання процесу обслуговування групи місцевих вагонів у підсистемі розформування

Розроблена методика дозволяє моделювати ТП станцій будь-якого рівня складності і з будь-яким ступенем деталізації. При цьому використання СА допускає моделювання різних варіантів обслуговування об'єктів, що забезпечує істотну гнучкість моделі. Крім того, формалізація ТП у вигляді СА робить можливою інтерактивну участь людини в процесі моделювання роботи станції і дозволяє імітувати його взаємодію з виконавцями технологічних операцій.

В ергатичних моделях людина бере безпосередню участь у керуванні роботою станції і виконує функції диспетчера, втручаючись в процес моделювання при виникненні конфліктних ситуацій, що потребують прийняття управлінських рішень. З цією метою до складу ФМС уведена *інформаційна модель*, що використовується людиною-диспетчером при моделюванні для контролю поточної ситуації і передачі керуючих команд.

У розробленій ергатичній моделі ІМ імітує робоче місце ДСП станції. При цьому на дисплеї ЕОМ відображається мнемосхема станції з усіма необхідними в роботі елементами (стрілочними рукоятками, сигнальними лампочками, кнопками та ін.). Зовнішній вигляд ІМ для ергатичної моделі парку прийому сортувальної станції представлений на рис. 5.

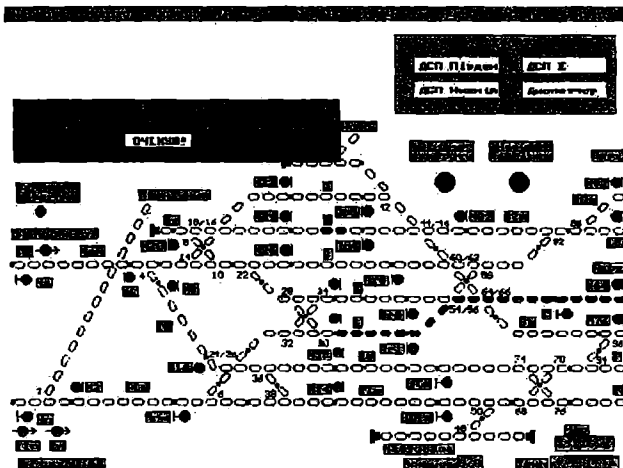


Рис. 5. Зовнішній вигляд ІМ ергатичної моделі станції

НТБ
ДНУЗТ

У процесі моделювання дані, необхідні для розрахунку показників роботи станції, записуються до протоколу. Крім того, при моделюванні автоматично ведеться графік виконаного руху встановленої форми, що дозволяє виконувати детальний аналіз результатів моделювання. Для прискорення процесу моделювання всі елементи ТП, що не потребують втручання диспетчера, виконуються в автоматичному режимі; в інтерактивний режим ФМС переводиться тільки при виникненні конфліктних ситуацій, для вирішення яких необхідне втручання людини-диспетчера. Експерименти з моделлю показали, що при такому підході для моделювання добової роботи станції необхідно близько 20 хвилин.

В третьому розділі для апробації розробленої методики побудови ФМС виконано ідентифікацію ергатичної моделі та оцінку її адекватності.

З цією метою було виконане комплексне обстеження підсистеми розформування (ПР) однієї з сортувальних станцій України. За результатами обстеження на основі розробленої методики були формалізовані технічне оснащення і технологічний процес роботи ПР, а також побудована відповідна інформаційна модель. Крім того, отримані числові характеристики законів розподілу випадкових величин, що характеризують вхідний потік поїздів та систему обслуговування ПР.

Для визначення параметрів вхідного потоку об'єктів (поїздів і маневрових составів), що надходить у ПР, виконана статистична обробка даних графіків виконаного руху та натурних листів на вантажні поїзди. По результатам обробки отримані дані, необхідні для моделювання процесу надходження об'єктів в підсистему розформування: моментів прибуття, кількості вагонів, їх призначення та ін.

З метою одержання числових характеристик законів розподілу випадкових величин тривалості виконання окремих технологічних операцій був виконаний хронометраж процесу обслуговування составів у ПР станції. При цьому для кожного состава фіксувалися наступні дані: кількість вагонів $N_{\text{ваг}}$, кількість відцепів N_0 , тривалість закріплення $T_{\text{закр}}$, тривалість огляду поїзда $T_{\text{то}}$, тривалість прибирання гальмівних башмаків $T_{\text{приб}}$, тривалість розпуску T_p , тривалість обробки документів $T_{\text{доку}}$, тривалість підготовки сортувального листка $T_{\text{сл}}$. Для визначення параметрів законів розподілу відповідних випадкових величин виконана статистична обробка даних, отриманих у результаті хронометражу. Слід зазначити, що випадкові величини $T_{\text{закр}}$, $T_{\text{то}}$, $T_{\text{приб}}$ та T_p не є незалежними, так як тривалість виконання відповідних операцій залежить від параметрів об'єктів, що обслуговуються (кількості вагонів, відцепів та ін.). На основі методів регресійного аналізу для цих величин був встановлений характер відповідних залежностей, які дозволяють адекватно моделювати тривалості виконання цих технологічних операцій.

Для оцінки адекватності розробленої моделі був виконаний статистичний аналіз випадкових величин часу перебування составів в ПР, отриманих на реальній станції і в результаті моделювання її роботи. З цією метою були досліджені вибірки вказаних значень часу, отриманих в результаті спостережень на станції $x=(x_1, x_2, \dots, x_n)$, $n=114$ і в результаті моделювання $y=(y_1, y_2, \dots, y_m)$, $m=36$. На основі статистичного аналізу встановлено, що випадкові величини X та Y підпорядковуються логарифмічно-нормальному закону розподілу з близькими значеннями параметрів. За даними вказаних вибірок була виконана перевірка гіпотези про їх

При цьому результатом рішення є підмножина точок, кожна з яких при певній величині витрат $Z(\gamma^*)$ визначає найбільш раціональний комплекс ОТЗ γ^* . При цьому отримана підмножина Γ^* включає лише так звані ефективні варіанти. Варіант ОТЗ $\gamma^* \in \Gamma$ будемо називати ефективним, якщо будь-яке відхилення від нього приводить до погіршення хоча б одного з показників, тобто до збільшення витрат або зменшення переробки вагонів. Таким чином, під рішенням задачі (2) будемо розуміти деякий набір варіантів $\Gamma^* \in \Gamma$, у якому будь-який варіант є ефективним.

Основною властивістю множини Γ^* є те, що будь-які два варіанти γ_q^* і γ_r^* цієї множини між собою є непорівнянними за Парето, тобто для них має місце умова:

$$\{Z(\gamma_q^*) > Z(\gamma_r^*), N(\gamma_q^*) > N(\gamma_r^*)\}$$

Розв'язок задачі (2) зводиться до розв'язку задачі на умовний екстремум:

$$Z(\gamma) \rightarrow \min, N(\gamma) \geq N^*, \gamma \in \Gamma \quad (3)$$

де N^* – задана величина перероблювальної спроможності станції.

Для рішення задачі (3) використовується функція Лагранжа:

$$L(\gamma, \mu) = Z(\gamma) - \mu N(\gamma) \quad (4)$$

Рішенням задачі (3) при фіксованому μ буде множина $\gamma^*(\mu)$, що мінімізує функцію Лагранжа, тобто: $L(\gamma^*, \mu) \rightarrow \min, \gamma^* \in \Gamma$.

У силу співвідношень (1) функцію Лагранжа (4) можна записати як:

$$L(\gamma, \mu) = \sum [Z(\Theta_j) - \mu N(\Theta_j)], \Theta_j \in \gamma \quad (5)$$

Таким чином, при побудові множини $\gamma^*(\mu)$ в неї необхідно включати тільки такі елементи Θ_j , які б мінімізували вираз: $\Delta Z(\Theta_j) - \mu N(\Theta_j)$, що у кінцевому підсумку приведе до мінімуму функції (5).

Апробація даної методики була виконана при дослідженні й оптимізації технічного оснащення і технології роботи ПП сортувальної станції. При цьому був розглянутий ряд можливих заходів, кожен з яких може бути представлено множиною Θ_j : 1) зміна числа колій у ПП $\Theta_1 = \{4; 5\}$; 2) реконструкція вхідної горловини для прийому поїздів з Л $\Theta_2 = \{0; 1\}$; 3) зміна кількості маневрових локомотивів $\Theta_3 = \{1; 2\}$; 4) зміна кількості бригад ПТО: $\Theta_4 = \{1; 2\}$; 5) зміна кількості груп оглядачів вагонів у кожній бригаді $\Theta_5 = \{2; 3; 4\}$. Таким чином, було отримано 48 варіантів γ , кожен з яких являє собою комбінацію зазначених вище заходів Θ_j .

Для одержання техніко-експлуатаційних показників, що характеризують функціонування ПП по кожному з намічених варіантів, було виконане моделювання роботи ПП із використанням ергатичної моделі. З урахуванням отриманих значень показників по кожному варіанту ОТЗ γ_i були розраховані витрати на його реалізацію $Z(\gamma_i)$, а також визначене максимальне значення перероблювальної спроможності, яке може бути досягнуте при реалізації даного варіанту. Таким чином, була отримана множина $\Gamma = \{\gamma_1, \gamma_2, \dots, \gamma_{48}\}$, яка наведена в табл. 1, а також представлена на рис. 7 у вигляді поля точок. На основі рішення задачі векторної оптимізації з множини Γ була виділена підмножина Γ^* , що включає лише ефективні варіанти і є рішенням поставленої задачі. Елементи підмножини Γ^* виділені в табл. 1. На рис. 7 також виділені точки, що відповідають ефективним варіантам ОТЗ, які доцільно реалізувати на станції.

Таблиця 1 – Результати моделювання роботи парка прийому сортувальної станції

№ п/п	Множина γ_i					Показник	№ п/п	Множина γ_i					Показник	№ п/п	Множина γ_i					Показник			
	Θ_1	Θ_2	Θ_3	Θ_4	Θ_5			$Z(\gamma_i)$	$N(\gamma_i)$	Θ_1	Θ_2	Θ_3			Θ_4	Θ_5	$Z(\gamma_i)$	$N(\gamma_i)$	Θ_1		Θ_2	Θ_3	Θ_4
1	4	0	1	1	2	2671	1540	17	5	0	1	2	3	3950	2475	33	4	1	2	1	4	4281	2420
2	4	0	1	1	3	3204	1980	18	5	0	1	2	4	4230	2585	34	4	1	2	2	2	4231	2475
3	4	0	1	1	4	3490	2200	19	5	0	2	1	2	3346	1705	35	4	1	2	2	3	4582	2805
4	4	0	1	2	2	3425	2200	20	5	0	2	1	3	3934	2200	36	4	1	2	2	4	4832	3135
5	4	0	1	2	3	3749	2420	21	5	0	2	1	4	4188	2475	37	5	1	1	1	2	3222	1595
6	4	0	1	2	4	4016	2530	22	5	0	2	2	2	4203	2585	38	5	1	1	1	3	3727	2035
7	4	0	2	1	2	3199	1705	23	5	0	2	2	3	4523	2860	39	5	1	1	1	4	3932	2200
8	4	0	2	1	3	3705	2145	24	5	0	2	2	4	4756	3190	40	5	1	1	2	2	3908	2255
9	4	0	2	1	4	4002	2420	25	4	1	1	1	2	2973	1540	41	5	1	1	2	3	4225	2475
10	4	0	2	2	2	4000	2475	26	4	1	1	1	3	3510	1980	42	5	1	1	2	4	4513	2585
11	4	0	2	2	3	4337	2805	27	4	1	1	1	4	3790	2200	43	5	1	2	1	2	3654	1705
12	4	0	2	2	4	4625	3135	28	4	1	1	2	2	3703	2200	44	5	1	2	1	3	4191	2200
13	5	0	1	1	2	2996	1650	29	4	1	1	2	3	3979	2420	45	5	1	2	1	4	4492	2475
14	5	0	1	1	3	3434	2035	30	4	1	1	2	4	4281	2530	46	5	1	2	2	2	4513	2585
15	5	0	1	1	4	3643	2200	31	4	1	2	1	2	3494	1705	47	5	1	2	2	3	4841	2860
16	5	0	1	2	2	3623	2255	32	4	1	2	1	3	4023	2145	48	5	1	2	2	4	5090	3245

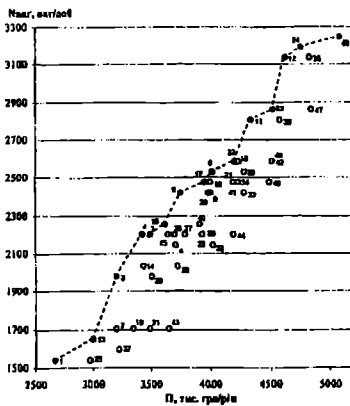


Рис. 7. Поле точок множини Г

Отримане рішення дозволяє здійснювати вибір раціонального комплексу заходів, що забезпечують максимальну ефективність роботи ПП станції в залежності від обсягів фінансування проекту. Подібне рішення може бути отримане для всіх технічних станцій залізниці. Це дасть можливість керівництву залізниці визначати найбільш ефективний варіант розподілу ресурсів при модернізації станцій, що дозволить забезпечити максимальну (задану) пропускну здатність станцій і певного напрямку при мінімумі витрат. Розроблена методика та моделі можуть бути покладені в основу сучасної системи підтримки прийняття рішень для керівництва залізниць.

У п'ятому розділі розроблена методика побудови імітаційних тренажерів ОДП на базі створених в дисертації функціональних ергатичних моделей залізничних станцій. Окрім того, запропоновано методику оцінки рівня професійної підготовки оперативно-диспетчерського з використанням тренажерів.

Людина-диспетчер є основою ланкою ергатичної системи керування залізничними станціями. У цьому зв'язку при плануванні заходів, спрямованих на удосконалення роботи об'єктів залізничного транспорту (станцій, ділянок), необхідно частину виділених коштів направляти на підвищення рівня професійної підготовки диспетчерського персоналу, що керує роботою даних об'єктів (ДНЦ, ДСП, ДСЦ, ДСПГ). Для розвитку комплексу навичок оперативного керування найбільш ефективно використовувати імітаційні тренажери на базі сучасних ПЕОМ.

У рамках вирішення триєдиної задачі удосконалення конструкції, технології та системи керування залізничних станцій в дисертації було розроблено імітаційний тренажер для підготовки ДСП однієї з сортувальних станцій України. Структура імітаційного тренажера ДСП включає три основні частини: функціональну модель станції, інформаційну модель робочого місця та модель інструктора. Функціональна модель забезпечує в тренажері моделювання технологічного про-

цесу роботи станції. З цією метою в тренажері ДСП використано розроблену в дисертації ергатичну модель підсистеми розформування сортувальної станції.

Інформаційна модель (ІМ) призначена для імітації в тренажері реального робочого місця ДСП і відображення в процесі тренування всієї необхідної інформації, як візуальної, так і вербальної. У розробленому тренажері ДСП на екрані ПЕОМ відображається пульт-табло поста ЕЦ з усіма необхідними елементами (рис. 8): світлова мнемосхема парку, сигнальні лампочки, стрілочні рукоятки, кнопки і т.д. Тренажер дозволяє готувати поїзні і маневрові маршрути шляхом перемикання стрілочних рукояток і кнопок світлофорів за допомогою маніпулятора „миша”. У процесі тренування детально моделюється технологічний процес обслуговування поїздів різних категорій, а всі поїзні та маневрові пересування відображаються в ІМ тренажера так само, як і на реальному пульті-табло поста ЕЦ. Крім того, здійснюється імітація оперативних переговорів ДСП з іншими працівниками, що дозволяє вивчати встановлений регламент інформаційної взаємодії. З цією метою передбачений вивід у звуковій і текстовій формі повідомлень для ДСП від усіх працівників, що беруть участь у технологічному процесі. Виклик черговим по станції необхідного йому працівника реалізований за допомогою системи меню і команд.

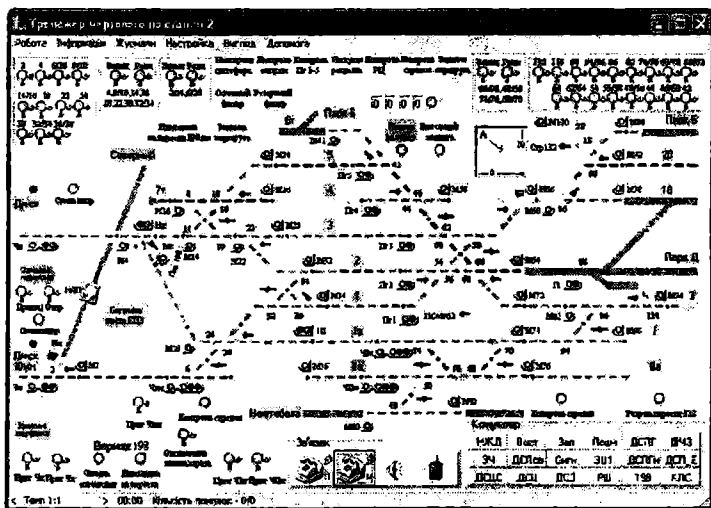


Рис. 8. Зовнішній вигляд тренажера для підготовки ДСП сортувальної станції

На основі розробленої методики побудовані імітаційні тренажери для підготовки ДСП станцій Нижньодніпровськ-Вузлов Придніпровської залізниці, Одеса-Сортувальна та Миколаїв Одеської залізниці. Використання тренажерів при підготовці персоналу на цих станціях, а також під час навчання студентів та підвищення кваліфікації ОДП у ДНУЗТі підтвердило їх високу ефективність. Так, дослідження процесу навчання студентів на тренажері ДСП показали, що після курсу тренувань (у середньому 6-7 занять) студенти досягають результатів, близьких до результатів роботи на тренажері професійних ДСП.

Модель інструктора в тренажері ДСП призначена для забезпечення організації, супроводження та оцінки тренування. При цьому найбільші труднощі з методичної точки зору представляє вибір показника для оцінки виконаного тренування, а також способу його розрахунку. В зв'язку з різноманітністю та складністю задач, які вирішуються під час тренування, отримати єдиний узагальнений показник для оцінки діяльності ДСП досить складно. Тому для вирішення цієї задачі запропонована методика, що базується на методах дискримінантного аналізу і дозволяє на основі множини показників класифікувати ДСП до однієї з груп, кожна з яких включає працівників з певним рівнем професійної підготовки.

В процесі роботи на тренажері всі дії ДСП фіксуються, і по закінченні тренування розраховується ряд показників (простий составів на станції, простий на прилеглих лініях, допущені помилки, тощо), які утворюють вектор класифікуючих змінних $X^* = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$. Вектор X^* використовується для класифікації ДСП до певної групи раніш оцінених працівників, інформація про яких міститься в базі даних тренажера. При цьому працівник, результати роботи якого оцінюються, відноситься до тієї групи, для якої дискримінантна функція нормального розподілу перетворюється в максимум:

$$f_i(X^*) = (2\pi)^{-N/2} \cdot (\det S_i)^{-1/2} \cdot \exp\{-1/2 \cdot ((X^* - m_i) \cdot S_i^{-1} \cdot (X^* - m_i))\} \rightarrow \max, \quad (6)$$

де N – кількість параметрів, що оцінюються; m_i – вектор математичних очікувань параметрів x_1, x_2, \dots, x_n для i -ї групи; S_i, S_i^{-1} – відповідно, ковариаційна та обернена до неї матриці розмірністю $N \times N$ для i -ї групи.

Але, як показали дослідження, виконані під час роботи на тренажері ДСП групи студентів, методика оцінки, заснована на (6), дає досить значний відсоток хибної класифікації (близько 25%), а також не стійка при класифікації „спірних” об'єктів, які знаходяться на границях груп („шум”). В цьому зв'язку в дисертації було виконано дослідження можливості використання для оцінки результатів тренувань лінійної дискримінантної функції Фішера. Як відомо, якщо всі групи, серед яких виконується класифікація вектора X^* , мають одну статистично однакову ковариаційну матрицю S , то вираз (6) може бути представлений у вигляді лінійної функції:

$$h_i(X^*) = (X^* \cdot \gamma_i) \cdot \lambda_i \rightarrow \max, \quad \text{де } \gamma_i = S^{-1} m_i, \quad \lambda_i = 1/2(m_i \cdot S^{-1} \cdot m_i) \quad (7)$$

Виконані дослідження показали, що лінійна функція Фішера при оцінці результатів роботи на тренажері показує досить низький рівень хибної класифікації (близько 7%) і більш стійка до класифікації „шуму”. В зв'язку з цим була розроблена методика класифікації, що базується на методі коаліцій дискримінантного аналізу, який передбачає об'єднання груп зі статистично однаковими ковариаційними матрицями в коаліції. Гіпотеза про статистичну рівність ковариаційних матриць груп перевіряється за допомогою метода Бокса. По об'єднаним даним визначається загальна ковариаційна матриця S , і класифікація об'єкта (вектора X^*) виконується по максимуму лінійної функції Фішера (7).

Дискримінантний аналіз є методом класифікації з навчанням, тобто передбачає наявність певної бази вже класифікованих по групах працівників (навчальної вибірки). Отримання навчальної вибірки пропонується виконувати за допомогою методів кластерного аналізу з урахуванням експертних оцінок.

У додатках наведено результати комплексного обстеження підсистеми розформування сортувальної станції, моделі окремих елементів станції, приклади результатів моделювання, отриманих за допомогою розроблених програм, а також довідки про використання результатів дисертаційної роботи.

ВИСНОВКИ

В дисертаційній роботі отримане нове вирішення актуальної науково-практичної задачі підвищення ефективності функціонування залізничних станцій як ергатичних систем. Розроблена методика побудови функціональних ергатичних моделей станцій дозволяє вирішувати триєдину задачу комплексного удосконалення конструкції, технології та ергатичної системи керування залізничних станцій.

Основні наукові результати і висновки дисертації полягають у наступному:

1. Існуючі методи моделювання залізничних станцій практично не враховують керуючу діяльність оперативно-диспетчерського персоналу, що суттєво знижує адекватність таких моделей. У зв'язку з цим здобула подальший розвиток концепція ергатичних моделей станцій, в яких людина приймає безпосередню участь у процесі моделювання, виконуючи функції диспетчера.

2. Функціональна модель залізничної станції має відображати як її структуру, так і взаємодію окремих елементів. В зв'язку з цим функціональна ергатична модель станції повинна включати комплекс універсальних модулів (моделі колійного розвитку, системи керування пересуваннями, руху транспортних об'єктів, технологічного процесу та інформаційну модель). Вказані модулі були побудовані з використанням об'єктно-орієнтованого підходу, що дозволяє уніфікувати їх інтегрування в функціональну модель станції. Такий підхід суттєво спрощує синтез моделей конкретних станцій та дозволяє враховувати особливості їх технічного оснащення і технології роботи.

3. Формалізацію конструкції колійного розвитку та системи керування пересуваннями для побудови відповідних моделей запропоновано здійснювати на основі зважених орієнтованих графів, вершинам яких відповідають стрілочні переводи, світлофори та кінці колій, а дугам – ділянки колій між цими елементами. Розроблена методика формалізації дозволяє адекватно моделювати та відображати в інформаційній моделі пересування об'єктів і застосовна до станцій будь-якого типу.

4. При побудові ергатичних моделей залізничних станцій формалізацію їх технологічного процесу доцільно виконувати на основі детермінованого скінченного автомата. Такий підхід дозволяє адекватно моделювати функціонування залізничних станцій всіх типів без обмежень по складності та структурі технологічного процесу і забезпечує можливість інтерактивної участі людини-диспетчера у процесі моделювання.

5. При використанні ергатичних моделей суттєво збільшується тривалість процесу моделювання. Тому для прискорення функціонування ергатичної моделі станції всі елементи технологічного процесу, які не потребують втручання людини-диспетчера, виконуються в автоматичному режимі. В інтерактивний режим пропонується переводити модель тільки при виникненні конфліктних ситуацій, для вирішення яких необхідне втручання людини-диспетчера. Апробація розроблених ергатичних моделей показала, що при такому підході для моделювання добової роботи станції необхідно близько 20 хвилин.

6694a

ДНУ

6. Для перевірки адекватності створеної моделі підсистеми розформування використаний критерій Уїлкоксона; з його допомогою була підтверджена гіпотеза про належність одній генеральній сукупності вибірок часу простою составів, що були отримані на реальній станції та за результатами моделювання її роботи.

7. Задача оптимізації техніко-технологічних параметрів залізничних станцій формалізована як задача векторної оптимізації, що була вирішена з використанням методу невизначених множників Лагранжа. При цьому техніко-економічна оцінка комплексу планованих організаційно-технічних заходів виконувалася за допомогою розробленої функціональної ергатичної моделі станції. Отримане рішення дозволяє визначати раціональний комплекс заходів з урахуванням вартості проекту та ефекту від його реалізації. Такий підхід дозволяє підвищити ефективність планованих на станції заходів у середньому на 15%.

8. Для підготовки та тестування оперативно-диспетчерського персоналу залізничних станцій найбільш доцільно використовувати імітаційні тренажери на базі сучасних ПЕОМ. У зв'язку з цим на базі розробленої ергатичної моделі побудовано тренажер для підготовки ДСП сортувальної станції. При цьому сформульовано принципи побудови імітаційних тренажерів, а також розроблена методика формалізації робочого місця ДСП для створення відповідної інформаційної моделі.

9. Дослідження процесу навчання студентів на тренажері ДСП показали, що після курсу тренувань (у середньому 6-7 занять) вони оволодівають базовими принципами оперативного керування роботою станцій; при цьому показники їх роботи на тренажері близькі до відповідних показників, отриманих професійними ДСП.

10. Оцінку рівня професійної підготовки працівників ОДП за результатами роботи на тренажері пропонується здійснювати на основі дискримінантного аналізу. Встановлено, що класифікацію працівника в залежності від результатів його тренування доцільно виконувати по максимуму лінійної функції Фішера. Розроблена методика дозволяє формалізувати прийняття рішення про ступінь професійної готовності працівника та можливість переходу до наступного етапу його підготовки.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Бобровский В.И., Вернигора Р. В. Функциональное моделирование железнодорожных станций в тренажерах оперативно - диспетчерского персонала // Математичне моделювання. - 2000. - №2(5). - с. 68-71.

2. Бобровский В.И., Вернигора Р. В. Повышение качества обучения оперативно-диспетчерского персонала железнодорожных станций с использованием компьютерных тренажеров // 36. наук. праць КУЕТТ: Серія "Транспортні системи і технології", Вип. 3. - К.: КУЕТТ, 2003. - с. 54-61.

3. Бобровський В.І., Козаченко Д.М., Вернигора Р. В. Базова модель колійного розвитку в імітаційних моделях залізничних станцій. //36. наук. праць УкрДАЗТ: Серія „Удосконалення вантажної і комерційної роботи на залізницях України”, Вип. 62. - Харків: УкрДАЗТ, 2004. - с. 20-25.

4. Бобровский В.И., Козаченко Д.Н., Вернигора Р. В. Эргатические модели железнодорожных станций. // 36. наук. праць КУЕТТ: Серія "Транспортні системи і технології", Вип. 5. - К.: КУЕТТ, 2004. - с. 80-86.

5. Бобровський В.І., Козаченко Д.М., Вернигора Р. В. Техничко-економічне управління залізничними станціями на основі ергатических моделей. // Інформ. - керуючі системи на залізничному транспорті. - 2004. - № 6. - с. 17-21.

6. Бобровский В.И., Вернигора Р.В., Малашкин В.В. Количественная оценка технико-технологических параметров железнодорожных станций на основе эргатических моделей. //Вісник ДНУЗТ - №16 - Дніпропетровськ: ДНУЗТ - 2007 - с.50-57.

Додаткові праці:

7. Бобровський В.І., Козаченко Д.М., Вернигора Р. В., Рогов Н.В. Совершенствование технико-технологических параметров и систем управления железнодорожных станций. Зб. доповідей наук. семінару “Удосконалення технології перевізного процесу”, ДНУЗТ, 17-18 червня 2004р. — с. 25-28.

8. Бобровский В.И., Вернигора Р. В. Применение компьютерных тренажеров для оценки профессиональных качеств оперативно-диспетчерского персонала. //Информ. - керуючі системи на залізничному транспорті. - 2002 - № 4-5. - с. 123-124.

9. Бобровский В.И., Вернигора Р. В. Оценка уровня профессиональной подготовки оперативно-диспетчерского персонала железнодорожных станций в компьютерных тренажерах // Проблемы та персп. розвитку трансп. систем: Тези доп. І-ї наук.-практ. конф. — К.: КУЕИТ, 2003. -- с. 149-150.

10. Вернигора Р.В. Функциональное моделирование систем станционной автоматики в эргатических моделях железнодорожных станций. //Проблемы та персп. розвитку трансп. систем: Тези доп. II-ї наук.-практ. конф. — К.:КУЕИТ, 2004. — с.134.

АНОТАЦІЯ

Вернигора Р.В. Підвищення ефективності функціонування залізничних станцій як ергатичних систем. — Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.22.20 — експлуатація та ремонт засобів транспорту, Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, Дніпропетровськ, 2007.

Дисертація присвячена проблемі удосконалення конструкції, технології та ергатичної системи керування залізничних станцій на основі їх функціонального моделювання. З цієї метою створено систему універсальних математичних та імітаційних моделей, що дозволяють адекватно моделювати функціонування залізничних станцій та забезпечують інтерактивну участь людини-диспетчера у процесі моделювання. При цьому формалізацію схеми колійного розвитку та системи станційної автоматики виконано на основі орієнтованих графів, а технологічний процес роботи формалізовано на основі детермінованого скінченного автомату.

Розроблено методику двокритеріальної векторної оптимізації техніко-технологічних параметрів станцій, яка дозволяє отримати залежність рівня ефективності планованих на станції організаційно-технічних заходів від обсягів фінансування проекту. Розроблені моделі та методи можуть бути використані для створення автоматизованих систем підтримки прийняття рішень з метою оцінки конструкції та технології роботи станцій.

Для удосконалення ергатичної системи оперативного керування станцій на базі їх функціональних моделей побудовано імітаційні тренажери, які є ефективним засобом підвищення рівня професійної підготовки диспетчерського персоналу станцій, а також розроблені методи об'єктивної оцінки її якості. Розроблені тренажери впроваджені на ряді залізничних станцій України.

Ключові слова: залізничні станції, функціональна модель, ергатична модель, векторна оптимізація, імітаційний тренажер.

АННОТАЦИЯ

Вернигора Р.В. Повышение эффективности функционирования железнодорожных станций как эргатических систем. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.22.20 - эксплуатация и ремонт средств транспорта, Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, Днепропетровск, 2007.

В диссертационной работе получено новое решение актуальной научной задачи повышения эффективности функционирования железнодорожных станций как эргатических систем. Разработанная методика построения функциональных эргатических моделей станций позволяет решать триединую задачу комплексного усовершенствования конструкции, технологии и эргатической системы управления железнодорожных станций.

В диссертации выполнен всесторонний анализ отечественного и зарубежного опыта моделирования станционных процессов. Существующие методы моделирования железнодорожных станций практически не учитывают управленческую деятельность диспетчерского персонала, что существенно снижает адекватность таких моделей. В связи с этим получила дальнейшее развитие концепция эргатических моделей, в которых человек принимает непосредственное участие в процессе моделирования, выполняя функции диспетчера. Кроме того, проанализирован опыт применения на железнодорожном транспорте имитационных тренажеров, которые являются наиболее эффективным средством подготовки персонала.

Структура разработанной функциональной модели станции включает комплекс универсальных модулей: модели путевого развития, системы станционной автоматики, движения транспортных объектов, технологического процесса и информационную. Модели путевого развития и системы станционной автоматики формализованы на основе взвешенных ориентированных графов, вершинам которых соответствуют стрелочные переводы, светофоры и концы путей, а дугам – участки путей между этими элементами. Технологический процесс работы станции формализован на основе детерминированного конечного автомата, что позволяет детально моделировать функционирование железнодорожных станций любых типов без ограничений по сложности и структуре технологического процесса и обеспечивает возможность интерактивного участия человека-диспетчера в моделировании. Все модели реализованы на ЭВМ в виде отдельных универсальных модулей, построенных на основе объектно-ориентированного подхода. При этом усложнение внутренней организации модулей дало возможность существенно упростить построение моделей конкретных станций и за счет этого расширить сферу их применения для инженерно-технических работников железных дорог.

Разработана методика двухкритериальной векторной оптимизации технико-технологических параметров станций, которая позволяет получить зависимость уровня эффективности планируемых на станции организационно-технических мероприятий от объемов финансирования проекта. Разработанные модели и методы могут быть использованы для создания автоматизированных систем поддержки принятия решений с целью оценки конструкции и технологии работы станций.

Для усовершенствования эргатической системы оперативного управления станций разработана методика построения имитационных тренажеров ДСП на базе функциональных эргатических моделей станций, а также разработаны методы объективной оценки качества подготовки персонала на основе современных математических методов классификации объектов. На основе разработанной методики созданы и внедрены имитационные тренажеры ДСП для ряда станций Украины.

Ключевые слова: железнодорожные станции, функциональная модель, эргатическая модель, векторная оптимизация, имитационный тренажер.

THE SUMMARY

Vernigora R.V. The rise of operation's efficiency of the railway stations as ergatic systems. - Manuscript.

Dissertation on winning of scientific candidate degree of technical sciences on speciality 05.22.20 – Exploitation and transport metods repair. – Dnepropetrovsk National University of Railway Transport named after V. Lazaryan, 2007.

The thesis is dedicated to problem of the improvement to construction, technologies and ergatic managerial system of railway stations based on their functional modeling. For this purpose created system of the universal mathematical and simulation models, which allow adequately modeling of the railway stations operation and provide the interactive participation of the person-traffic manager in process of modeling. Formalization of the way's development scheme and station's automation system was executed on base of the oriented graphs, and technological process of the station work formalized on base of the deterministic ended automat.

In dissertation were designed the methods of the two-criterion vector optimization of the technician-technological station's parameters, which allows to get the dependency of a level of efficiency organizing-technical measures, planned on stations, from volumes of the financing the project. The models and methods, which were designed in a dissertation, can be used for creation automated decision support system for estimations of the stations constructions and technologies of their work.

Methods of the creation computer simulators for station's operators were designed for improvement of ergatic operative management system of stations. Such simulators are designed on a base of the stations functional ergatic models. Also were designed the methods of the objective estimation of the quality of stations personnel preparing, which based on the modern mathematical methods of objects categorizations and provide to use a simulators. The computer simulators of stations operators, which were designed, are introduced on several railway stations of Ukraine.

Keywords: railway stations, functional model, ergatic model, vector optimization, computer simulator.

1-00

Вернигора Роман Віталійович

**ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ ЗАЛІЗНИЧНИХ
СТАНЦІЙ ЯК ЕРГАТИЧНИХ СИСТЕМ**

Автореферат

**дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук**

Підписано до друку 11 січня 2008р.

Формат 60x84 1/16. Папір для множних апаратів. Різограф.

Ум. др. арк. 1,0. Обл.-вид. л.1,0. Тираж 150 екз.

Замовлення № 46. Безкоштовно.

**Видавництво Дніпропетровського національного університету
залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна ДК №1315 від 31.03.03**

Адреса університету і ділянки оперативної поліграфії:

49010, Дніпропетровськ, вул. Лазаряна, 2

www.dnitrzv.dp.ua, admin@dnitrzv.dp.ua

Сканувала Кам'янська Н.О.

НТБ
ДНУЗТ