

ХАРКІВСЬКА ДЕРЖАВНА АКАДЕМІЯ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ

ЧЕПЦОВ МИХАЙЛО МИКОЛАЙОВИЧ

УДК 656.25:656.256:656.257

**ДИНАМІЧНА ПОЇЗНА МОДЕЛЬ  
РАЙОНУ ДИСПЕТЧЕРСЬКОГО УПРАВЛІННЯ**

05.22.20 – Експлуатація та ремонт засобів транспорту

**АВТОРЕФЕРАТ**

дисертації на здобуття наукового  
ступеня кандидата технічних наук

Харків - 2001

Дисертацією є рукопис

Робота виконана на кафедрі “Автоматика і комп’ютерні системи управління” Харківської державної академії залізничного транспорту Міністерства транспорту України

**Науковий керівник:**

кандидат технічних наук, доцент

**Мойсеєнко Валентин Іванович**

доцент кафедри “Автоматика і комп’ютерні системи управління” Харківської державної академії залізничного транспорту

**Офіційні опоненти:**

доктор технічних наук, професор **Бутько Тетяна Василівна**, Харківська державна академія залізничного транспорту, завідувач кафедри “Управління експлуатаційною роботою та міжнародними перевезеннями”;

кандидат технічних наук, доцент **Матейченко Віктор Валентинович**, Харківський технічний університет радіоелектроніки, доцент кафедри “Електронні обчислювальні машини”.

**Провідна установа:**

Дніпропетровський державний університет залізничного транспорту, кафедра “Електронні обчислювальні машини”, Міністерство транспорту України.

Захист відбудеться 29.11.2001 р. о 14 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.820.04 Харківської державної академії залізничного транспорту за адресою 61050, м. Харків, майдан Фейєрбаха, 7.

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Харківської державної академії залізничного транспорту за адресою 61050, м. Харків, майдан Фейєрбаха, 7.

Автореферат розісланий 24.10.2001 р.

Вчений секретар

спеціалізованої вченої ради

Запара В.М.

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Вступ.** Залізничний транспорт України є складною, територіально розподіленою системою технологічних підрозділів і технічних засобів, які повинні забезпечити перевезення пасажирів і вантажів із максимально можливою продуктивністю, мінімальною собівартістю, гарантованою безпекою руху. В умовах подальшого нарощування економічного потенціалу можна прогнозувати ускладнення умов перевізного процесу, за рахунок конкуренції з іншими видами транспорту. Це, в свою чергу, потребує вирішення завдань по оновленню інфраструктури залізниць, удосконаленню системи управління за рахунок автоматизації найбільш трудомістких і відповідальних операцій. Вказані завдання були сформульовані Міністерством транспорту України у Концепції і програмі реструктуризації залізничного транспорту.

**Актуальність теми.** Автоматизація процесу оперативного управління залізничним транспортом потребує модернізації існуючих систем, і розробки принципово нових, які базуються на сучасних транспортних технологіях. Основою таких систем є динамічна поїзна модель, яка повинна відповідати реальному перевізному процесу на полігоні, у всіх його істотних ознаках.

У той же час, методи автоматизації, математичні моделі, програмне й апаратне забезпечення діючих систем, розроблялося в 70-80 роках, і в повному обсязі, не відповідає поставленим завданням. За останній час значно зріс рівень розвитку техніки, у першу чергу, обчислювальної, з'явилися й одержали подальший розвиток, нові математичні методи моделювання фізичних процесів. Практично на усіх залізницях України інтенсивно іде процес оновлення парку електронної обчислювальної техніки, але програмне забезпечення та математичний апарат моделювання, не дозволяє реалізувати в повній мірі можливості цього обладнання. У зв'язку з цим, виникає необхідність створення моделей управління перевізним процесом, в основу побудови яких покладені прогресивні математичні методи, зокрема, нейромережного моделювання.

Таким чином, з огляду на Концепцію й програму реструктуризації на залізничному транспорті України, тему дисертації можна кваліфікувати як актуальну і спрямовану на вирішення важливої наукової задачі.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Робота виконувалася відповідно до науково-технічних програм: Концепції й програми реструктуризації на залізничному транспорті України, прийнятою Державною адміністрацією залізничного транспорту в 1998 році; Проекту технічного завдання - Національна автоматизована система керування вантажними перевезеннями на залізничному транспорті України "НАСК ВП УЗ" №16289267.184154.201 ТЗ наказ Укрзалізниці НР ЦЗ-1-12 від 5.01.98р.; Постановою Кабінету Міністрів України №821 від 04.08.97 "Про затвердження Концепції створення й функціонування національної мережі транспортних коридорів в Україні"; науково-дослідній темі державного підприємства "Центр

стандартизації, метрологічного та нормативного забезпечення автоматизованих та автоматичних систем управління та умов процесу перевезень на залізничному транспорті” “Розробка автоматизованої системи знімання інформації про проходження поїздів по міждержавних і міжзалізничних стикових пунктах” №904-28/99-705.99-Цтех від 01.04.99; а також науково-дослідній держбюджетній темі “Розробка автоматичних систем попередження працюючих на рейкових дільницях станцій і перегонів”, державна реєстрація №0197U003551.

**Мета і задачі дослідження.** Метою дисертаційної роботи є розробка динамічної поїзної моделі району диспетчерського управління для удосконалення автоматизованої системи відстеження дислокації рухомих одиниць на елементах колійного розвитку. Поставлена мета визначила основні задачі:

- виконати аналіз структури, технічних засобів та інформаційного забезпечення системи оперативного управління рухом поїздів на залізничному транспорті;
- розробити загальну поїзну модель району диспетчерського управління (ДМР), тому що існуючі в даний час реалізації ДМР не належною мірою забезпечують відповідність інформаційної моделі стану перевізного процесу;
- розробити математичну модель колійного розвитку полігону диспетчерського управління, адаптовану під функціональність загальної моделі;
- обґрунтувати вибір математичного апарата нейронних мереж і розробити принципи побудови моделей функціонування станційних пристроїв автоматики;
- розробити модель функціонування дільниці залізничної колії, за інформацією системи диспетчерської централізації;
- скласти алгоритми і програмну реалізацію моделей на основі сучасних апаратних засобів і мов програмування високого рівня;

*Об'єкт дослідження* – система оперативного управління рухом поїздів.

*Предмет дослідження* – динамічна поїзна модель району диспетчерського управління.

*Методи дослідження.* У роботі, при синтезі загальної динамічної моделі й моделі колійного розвитку району диспетчерського керування, застосовувалися методи векторної алгебри. При моделюванні роботи пристроїв автоматики – теорія кінцевих автоматів, методи нейромережного моделювання. Синтез моделі функціонування колійної дільниці здійснювався із застосуванням методів інтегрального числення, різницевих рівнянь, нейронних мереж (зворотного поширення помилки).

**Наукова новизна отриманих результатів.**

- удосконалено загальну динамічну поїзну модель району диспетчерського управління;

- вперше розроблено модель колійного розвитку полігону диспетчерського управління, адаптовану під функціональність загальної моделі;
- вперше розроблено нейромережну модель функціонування пристроїв станційної автоматики та сформульовано принципи їх побудови для маршрутного управління;
- вперше досліджена часова ознака функціонування рейкового кола за інформацією системи диспетчерської централізації у взаємодії з графіком руху поїздів;
- вперше синтезована нейромережна модель функціонування колійної дільниці;
- вперше розроблено програмне забезпечення реалізації нейронної мережі колійної дільниці.

**Обґрунтованість і достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій** обумовлена коректністю постановки й рішення задач, обґрунтованістю вибору математичного апарата, використанням при моделюванні реальних вихідних даних. Достовірність наукових положень підтверджується наявністю актів про впровадження основних результатів роботи.

**Практичне значення отриманих результатів** полягає в тому, що на основі розроблених моделей з'являється можливість удосконалення автоматизованої системи відстеження дислокації рухомих одиниць на елементах колійного розвитку району диспетчерського управління. Наукове дослідження часової ознаки функціонування рейкового кола, за інформацією системи диспетчерської централізації (ДЦ) у взаємодії з графіком руху поїздів, дозволило розробити методи підвищення вірогідності інформації системи ДЦ. Ці методи впроваджені як програмний код у Інформаційно-статистичному центрі Донецької залізниці. Крім цього, розроблена в дисертації нейромережна модель функціонування рейкового кола, була використана при розробці алгоритмів та програмного забезпечення для виявлення часу проходження рухомою одиницею стикового пункту, що підтверджується актом про впровадження.

Запропонована модель функціонування пристроїв автоматики використовується у навчальному процесі та дипломному проектуванні студентів кафедри “Автоматики, телемеханіки, зв'язку та обчислювальної техніки” Донецького інституту залізничного транспорту, що підтверджується відповідним актом про впровадження.

**Особистий внесок здобувача.** Всі положення і результати, що виносяться на захист, отримані автором самостійно. У роботах, опублікованих у співавторстві, дисертанту належить: в роботі [1] автором запропонована модель функціонування станційних пристроїв автоматики на базі теорії кінцевих автоматів, розглянуті її переваги й недоліки, показана можливість застосування нейронної мережі, сформульовані принципи нейромережного моделювання маршрутного управління станційними об'єктами. У роботі [2] автором зроблений аналіз стану рейкових датчиків, показана можливість застосування нейронної мережі для класифікації стану колійної дільниці,

отримані й проаналізовані результати моделювання. У роботі [3] автором запропоновано метод моделювання поїзної ситуації на станції.

**Апробація результатів дисертації.** Основні положення і результати дисертаційної роботи доповідалися на 4 і 5 Міжнародному молодіжному форумі “Радіоелектроніка й молодь у ХХІ столітті”, що проводився у Харківському державному технічному університеті радіоелектроніки в 2000 та 2001 р., Алуштинській 1998, 2000 р. міжнародній конференції “Перспективні системи управління на залізничному, промисловому та міському транспорті” 1998, 2000, 2001 р., науково-технічних конференціях і семінарах ХарДАЗТ 1998-2000 р. Результати роботи повністю доповідалися на розширеному засіданні кафедри “Автоматика і комп’ютерні системи управління” ХарДАЗТ.

**Публікації.** По змісту дисертації опубліковано п’ять науково-технічних статей у фахових виданнях.

**Структура і обсяг роботи.** Дисертація складається зі вступу, чотирьох розділів та чотирьох додатків. Повний обсяг роботи становить 203 сторінки, з них обсяг основного тексту 133 сторінки; додатків, списку використаних джерел, рисунків і таблиць 83 сторінки; Робота ілюстрована 52 рисунками, наведено 9 таблиць. Список використаних джерел складається з 151 найменування.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми, сформульована мета та задачі дослідження. Розглянуто зв’язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Відображена наукова новизна та практичне значення одержаних результатів. Наведені відомості про апробації та публікації результатів досліджень.

У **першому розділі** зроблено аналіз структури, технічних засобів та інформаційної моделі системи диспетчерського управління (ДУ) на залізничному транспорті. Так, автоматизація управління залізничним транспортом припускає реалізацію динамічної моделі, що відповідає реальному перевізному процесу на полігоні дороги у всіх його істотних ознаках. Така модель повинна являти собою періодично оновлювані дані про поїзне положення, локомотиви, вагони, контейнери і вантажі, що знаходяться на полігоні.

У **розділі** зроблено аналіз методів автоматизації диспетчерського управління, застосовуваних у світовій практиці. Загальним для них є використання диспетчерської централізації і створення центрів управління, що охоплюють значний полігон залізничної мережі. Розробка таких систем (наприклад, супутникових) цілком виправдана, тому що спрямована на досягнення мети – оптимізації диспетчерського управління, а якщо така ціль буде досягнута з меншими витратами, то економічна ефективність такого рішення очевидна.

У вітчизняній практиці, реалізація динамічної моделі району (ДМР) диспетчерського управління, з обмеженим ступенем деталізації процесу вперше реалізована на Білоруській залізниці. Наукове обґрунтування вибору структури моделі, необхідних елементів інформаційного забезпечення, математичного апарата зроблено в роботах Грунтова П. С., Михальченка А. А., Кузнєцова В. М., Бабченка С. А., Захарова І. Е., Дорохова Е. Я., Ткачова В. М., Кейзера А. П., Гринь В. Ф., Костенка О. А., Пархоменка Н. В. Так, головним змістом ДМР є інформація про місцезнаходження і дані про всі поїзди, які знаходяться в районі управління, стані напільних пристроїв автоматики і телемеханіки, графік виконаного руху. Крім цього, динамічна модель поїзного положення повинна формуватися в реальному масштабі часу на базі інформації про стан ділянок і станцій, про номери поїздів, що займають конкретну дільницю чи станційну колію. Вона повинна бути достовірною й об'єктивною, первинною інформація повинна надходити без участі людини.

У той же час, існуючі методи відстеження руху поїздів засновані на подійному підході. Модель фіксує моменти часу при відправленні, прослідкуванні по перегону, прибутті на наступну станцію і так далі для кожного поїзда, що знаходиться на полігоні диспетчерського управління:

$$M_n(t) = (S_m^o(t), S_{mk}^{pr}(t), S_k^p(t)),$$

де  $S_m^o(t)$  - відправлення поїзда зі станції  $m$ ;

$S_{mk}^{pr}(t)$  - прослідкування по перегону  $mk$ ;

$S_k^p(t)$  - прибуття на станцію  $k$ .

У свою чергу кожне з подій у моделі руху є функцією від стану об'єктів телесигналізації системи диспетчерської централізації:

$$S_m^o(t) = (S_{ce}^o, S_2^3, S_{ce}^3, S_{yy}^3, S_2^c, S_{yy}^c),$$

де  $S_{ce}^o$  - відкриття вихідного світлофора;

$S_2^3$  - заняття поїздом горловини станції;

$S_{ce}^3$  - закриття вихідного світлофора;

$S_{yy}^3$  - заняття поїздом дільниці видалення;

$S_2^c$  - звільнення горловини;

$S_{yy}^c$  - звільнення дільниці видалення.

Очевидно, що при такому підході спотворення інформації в системі ДЦ призводить до “втрати” поїзда в моделі ДМР, а при тривалих відмовах виникає необхідність у ручному відновленні відповідності номерів поїздів їхньої дійсної дислокації. У зв'язку з цим, найбільш істотним питанням є недопущення втрати інформації, чи не перевищення цієї втрати визначених заданих допусків.

Слід зазначити, що для систем диспетчерської централізації джерелом первинної інформації про місцезнаходження рухомих одиниць служить датчик – рейкове коло (РК). За даними ряду авторів надійність функціонування РК, вірогідність інформації, отриманої від датчика, не в достатній мірі відповідає поставленим вимогам. Так, за даними Меньшикова Н. Я., Ягудина Р. Ш. на РК приходиться 25-30% загальної кількості відмов пристроїв сигналізації, централізації та блокування (СЦБ). Крім того, рейкові кола піддані впливу дестабілізуючих факторів, що також негативно позначається на вірогідності інформації. Це висуває додаткові вимоги до моделювання роботи колійної дільниці на основі інформації, одержуваної від системи диспетчерської централізації.

У **другому розділі** розроблена загальна динамічна поїзна модель і модель колійного розвитку району диспетчерського управління, де кожній рухомій одиниці (поїзду) поставлений у відповідність вектор:

$$\bar{M}(t, x, y) , \quad (1)$$

де  $x$  - відстань від осі станції, до першої колісної пари голови поїзда,  $y$  - номер рейки, на якій знаходиться поїзд. При рухові поїзда по станції, координата  $x$  змінює своє значення від  $x_n$  (ордината вхідного світлофора для маршрутів прийому або вихідного для маршрутів відправлення), до  $x_k$  (ордината вихідного маневрового світлофора з тієї колії, на яку здійснюється прийом поїзда, для маршрутів прийому, або ордината вхідного світлофора протилежного напрямку для маршрутів відправлення). У розділі сформульована множина можливих значень  $y$ , розроблені умови присвоєння значень цієї змінної, у залежності від типу і положення стрілок, устанавленого напрямку руху.

З урахуванням моделювання колійного розвитку, загальна динамічна модель району диспетчерського управління представлена як множина векторів рухомих одиниць, що знаходяться у визначений момент часу на елементах колійного розвитку полігону:

$$W(t) = (\bar{M}_1(t, x, y), \bar{M}_2(t, x, y), \dots, \bar{M}_n(t, x, y)) . \quad (2)$$



Очевидно, що функціонування моделі визначається інформацією системи диспетчерської централізації, яка, у свою чергу, оперує даними, наданими пристроями станційної автоматики. Тому в розділі синтезована відповідна модель на базі теорії кінцевих автоматів. На основі аналізу її функціонування показані обмежені можливості такого підходу при виникненні спотворень у первинній інформації. У зв'язку з цим зроблена оцінка можливості застосування математичного апарата нейронних мереж, для чого здійснений порівняльний аналіз повнозв'язаної мережі, мережі Хопфілда, мережі зворотного поширення помилки. На основі останньої розроблена модель функціонування пристроїв станційної автоматики для роздільного управління стрілками і сигналами. Сформульовано принципи побудови нейронних мереж для маршрутного управління (рис.1):

- а) з лічильником подій;
- б) зі зворотним зв'язком;
- в) “стекова” НС.

Крім цього, у розділі, на основі аналізу надійності роботи рейкових кіл, зроблено висновок, що саме ця інформація найбільш піддана спотворенням, а для вирішення задачі визначення місця розташування рухомих одиниць вона є найбільш важливою. У зв'язку з цим виникла необхідність у синтезі моделі роботи колійної дільниці, за інформацією системи диспетчерської централізації. У третьому розділі зроблено аналіз тимчасових характеристик джерел первинної інформації про наявність поїздів на елементах колійного розвитку району диспетчерського управління. Розглянуто функціонування датчика у взаємозв'язку з рухом поїзда при ідеальних умовах роботи (рис. 2). Показано, що в цьому випадку тривалість індикації стану “зайнято” ( $t_{II}$ ) відповідає часу прослідування

- а)
- б)
- в)

Рис. 1 Принципи побудови нейронної мережі при маршрутному управлінні

рухомої одиниці ( $t_{II}$ ):

$$t_{II} = t_{II} = t_{осв} - t_{зан},$$

де  $t_{осв}$  - час звільнення колійної дільниці;  $t_{зан}$  - час заняття.

Рис. 2 Функціонування РК у взаємозв'язку з рухом поїзда

Виразивши  $t_{\Pi}$ , по відомій формулі, через швидкість руху ( $V_{\Pi}$ ), довжину поїзда ( $l_{\Pi}$ ) і довжину рейкового кола ( $l_{PC}$ ) одержимо:

$$t_{\Pi} = \frac{l_{\Pi} + l_{PC}}{V_{\Pi}} .$$

Однак, у формуванні інформації, що надходить до центру диспетчерського управління, крім первинного датчика, беруть участь пристрої електричної централізації (ЕЦ), ДЦ, лінії зв'язку. У роботі цих пристроїв, можуть бути тимчасові спотворення, обумовлені їхнім принципом функціонування, елементною базою, а також можливими збоями в нормальній роботі (рис. 3).

З урахуванням цього, вираження для часу індикації можна представити як суму розкиду тимчасових параметрів ( $\Delta t$ ) та часу прослідування:

$$t_{II} = t_{\Pi} \pm \Delta t ,$$

тоді сума тимчасових спотворень:

$$|\Delta t| = \frac{l_{\Pi} + l_{PC}}{V_{\Pi}} - t_{II} .$$

У роботі на конкретному прикладі показано, що якщо відомий параметр  $\Delta t$  для колійного датчика, то можна підвищити вірогідність інформації про наявність рухомої одиниці на даному елементі колійного розвитку. Однак аналітично визначити цей параметр досить важко. У той же час робота пристроїв автоматики прямо зв'язана з рухом поїздів, і процес зміни поїзної ситуації на ділянці диспетчерського управління, представлений на графіку виконаного руху (ГВР).

Рис. 3 Функціонування РК при наявності тимчасових спотворень

Порівнявши цю інформацію з даними, одержаними від системи диспетчерської централізації, можна виявити наявність тимчасових спотворень у роботі пристроїв ЕЦ і ДЦ, а також підвищити вірогідність інформації, що надходить від цих систем. Для рішення цієї задачі в роботі виконується аналіз методів виявлення тимчасових спотворень у роботі рейкового кола за інформацією системи ДЦ. На підставі сполучення зміни стану датчика РК із ниткою на графіку руху

поїздів (рис. 4) вводиться поняття цільової функції -  $g(n,t)$ , що описує роботу датчика за даними графіка руху поїздів.

Рис. 4 Сполучення нитки на графіку руху зі зміною стану об'єктів у сигналі ТС

При порівнянні її з функцією роботи датчика за даними системи диспетчерської централізації  $s(n,t)$  можна виявити тимчасові спотворення  $\Delta t$  в сигналі ТС і задачу сформулювати як розпізнавання (класифікацію) образу кривої  $s(n,t)$  по еталону  $g(n,t)$  використовуючи математичний апарат нейронних мереж.

Проведена експериментальна оцінка коректності такого формулювання задачі на основі аналізу функціонування нейронної мережі зворотного поширення помилки (рис. 5, табл.1). Зроблено аналіз варіантів побудови цільової функції, у залежності від можливих спотворень інформації і типів графіка руху поїздів. Зроблено висновок про можливість застосування даних ГВР і інформації системи АСОУП для формування навчальної послідовності НС. Розроблено методику навчання нейронної мережі колійної дільниці (у скороченому варіанті):

- визначення часу ходу по перегону;
- обчислення ходової швидкості;
- розрахунок довжини поїзда;
- розрахунок тривалості заняття колійної дільниці за даними ГВР;
- складання навчальної вибірки;

Рис. 5 Функціонування НС колійної дільниці

Таблиця 1

Результати роботи емулятора нейронної мережі

Вхід	НС 4x5x3x1		НС 4x5x3x1		НС 4x15x5x1	
	Навч. послід.	Вихід	Навч. послід.	Вихід	Навч. послід.	Вихід
0000	0	0.032000	0	0.050314	0	0.016471
0001	-	0.943829	0	0.048776	0	0.014663
0010	0	0.029994	0	0.036411	0	0.009410
0011	-	0.935908	0	0.042806	0	0.011144
0100	-	0.105950	-	0.738741	-	0.795947
0101	1	0.922489	1	0.877976	1	0.871350

0110	-	0.061711	-	0.740391	-	0.767491
0111	1	0.889916	1	0.874595	1	0.850020
1000	-	0.041331	1	0.871933	1	0.847187
1001	1	0.862650	1	0.918514	1	0.898396
1010	-	0.033494	-	0.848272	-	0.816589
1011	-	0.772290	-	0.899947	-	0.868122
1100	-	0.056437	-	0.072149	-	0.102127
1101	0	0.137859	0	0.80555	0	0.112749
1110	-	0.052308	0	0.067327	0	0.093350
1111	0	0.103633	0	0.078367	0	0.104402

- виключення повторюваних записів у навчальній вибірці;
- навчання нейронної мережі колійної дільниці.

Однак застосування нейромодельовання буде більш ефективним, якщо в процесі експлуатації донавчати мережу. У цьому випадку враховуються всі можливі значення часу заняття колійних дільниць рухомими одиницями. Даний механізм донавчання реалізовано, виходячи з технологічного процесу. Так, графік виконаного руху складається за 12-и годинну робочу зміну поїзного диспетчера. Цілком природно навчати нейронну мережу кожні 12 годин, у міру готовності ГВР. З урахуванням цього в роботі розглядається функціонування загальної динамічної моделі району диспетчерського управління (рис. 6), що складається з декількох етапів. На першому відбувається навчання нейронної мережі кожної колійної дільниці, що стає можливим після закінчення робочої зміни диспетчера і складання остаточного графіка виконаного руху. У процесі навчання НС використовується інформація ГВР, системи АСОУП, інформація про несправності рейкових кіл за поточний період роботи (АРМ СЦБ) за методикою розглянутою вище. Другий етап – поточне функціонування моделі. Сигнал заняття колійної дільниці одержується від датчика рейкового кола, одночасно надходить на нейронну мережу (НС) і на вирішальний елемент (РЭ) (рис. 6). Вирішальний елемент здійснює операцію логічного додавання двох сигналів - виходу нейронної мережі і датчика рейкового кола:

$$Y = X_1 \wedge \overline{X_2} .$$

Рис. 6 Схема функціонування загальної поїзної моделі

Значення виходу НС дійсні числа з діапазону  $[0,1]$ , а на вхід елемента “Г” необхідно подавати логічні рівні, отже виникає питання їхнього узгодження. Найбільш просто це реалізується установкою граничного елемента, функціонування якого описується наступною системою:

$$U_{\text{вих}} = \begin{cases} 1, \text{ якщо } U_{\text{вх}} > U_{\text{пор}} \\ 0, \text{ якщо } U_{\text{вх}} \leq U_{\text{пор}} \end{cases},$$

де  $U_{\text{пор}}$  - рівень спрацьовування (порога). Граничний елемент може бути реалізований у вигляді окремого елемента або модифікацією функції збудження нейронів останнього шару. Розглянемо тимчасову діаграму функціонування вирішального елемента при прослідкуванні рухомої одиниці по даному елементові колійного розвитку (рис. 7). При спрацьовуванні датчика рейкового кола рівень ( $U_{\text{PC}}$ ) на вході вирішального елемента змінюється з “0” у “1” ( $t_1$ ). У цей момент часу запускається лічильник реального часу нейронної мережі. Після прослідкування поїзда, у момент часу  $t_2$ , рівень змінюється з “1” у “0”. У випадку розпізнавання корисного сигналу, на виході НС з'являється рівень, що перевищує  $U_{\text{пор}}$ , спрацьовує граничний елемент, і на виході вирішального елемента ( $U_Y$ ) з'явиться рівень “1” у момент часу  $t_{cp}$ . В іншому випадку, якщо сигнал розпізнаний як помилковий, граничний елемент не спрацьовує (штрихова крива) і  $U_Y = 0$ . Цей сигнал можна використовувати для виявлення збійних ситуацій у роботі системи диспетчерської централізації ( $\bar{Y}$  на рис. 7)

Рис. 7 Тимчасова діаграма функціонування вирішального елемента при прослідкуванні рухомої одиниці

Наявність сигналу  $U_Y = 1$  є основною передумовою функціонування моделі руху поїзда  $\bar{M}_n(t, x, y)$  (1). Так, у момент часу  $t_{cp}$  відбувається присвоєння значень перемінним  $t, x, y$  виходячи з фізичних координат рейкового кола. При рухові поїзда по станції, крім інформації про заняття рейкових ділянок, необхідні дані про положення стрілок. Таким чином, динамічна модель  $W(t)$  (2) містить дані про місцезнаходження усіх поїздів, що знаходяться на районі управління, причому ці дані змінюються відповідно до розвитку реальної ситуації на полігоні.

У четвертому розділі розглянуто засоби реалізації загальної моделі ДМР в обчислювальному центрі залізниці. Природно, що реалізація моделі повинна впроваджуватися з урахуванням наявних у центрах диспетчерського управління програмно-апаратних засобів. Це операційні системи - Windows, UNIX, Novell, бази даних – Oracle, Anywhere. Структура

програмно-апаратних засобів реалізації моделі складається з таких рівнів: лінійних підприємств (полігон ДУ), інформаційно-статистичного центра (ІСЦ), центра диспетчерського управління (рис. 8). Технічним засобом, необхідним для реалізації динамічної моделі, є пристрій узгодження, що дозволяє здійснити взаємодію із сервером баз даних (БД Oracle). Основна функція такого пристрою – перетворення повідомлень системи АСОУП у запит бази даних. У роботі розроблені відповідні запити до бази даних мовою SQL. За інформацією, яка одержується програмним забезпеченням автоматизованого робочого місця поїзного диспетчера (АРМ ДНЦ) із бази даних, ведеться графік виконаного руху поїздів. Запропонована модель дозволяє автоматизувати цей процес, і коректування графіка повинні бути мінімальні. У свою чергу, інформація ГВР необхідна для навчання нейронної мережі за розробленою методикою. Крім того, результатом роботи НС РЭ є дані про несправності в пристроях автоматики, зокрема помилкова зайнятість рейкових ділянок. Ця інформація також зберігається у вигляді таблиці в базі даних і доступна по локальній мережі програмному забезпеченню автоматизованого робочого місця електромеханіка дистанції сигналізації та зв'язку (АРМ ШН). На початковому етапі необхідно робити коректування записів несправностей, з метою виявлення помилкових, тому що ця інформація необхідна для процесу навчання нейронної мережі. В міру функціонування моделі таких записів повинно бути менше за рахунок адаптації НС до реальних умов роботи.

Рис. 8 Структурно-функціональна схема реалізації моделі ДМР

Крім того, у розділі розглянуті апаратний, програмно-апаратний і програмний засоби реалізації моделі нейронної мережі колійної дільниці при фіксації проходження поїздом стикового пункту. Наведено техніко-економічне обґрунтування, де розглянутий розрахунок передбачуваного економічного ефекту за рахунок скорочення програмного коду реалізації моделі.

## ВИСНОВКИ

У дисертації наведене теоретичне узагальнення і нове вирішення наукового завдання, що виявляється в розробці динамічної поїзної моделі району диспетчерського управління. Основні наукові результати, висновки та практичні рекомендації роботи такі:

1. На підставі аналізу структури, технічних засобів та інформаційного забезпечення системи оперативного управління рухом поїздів, зроблено висновок, що методи автоматизації, математичні моделі, програмне й апаратне забезпечення в повному обсязі, не відповідають поставленим завданням. У зв'язку з цим виникає необхідність удосконалення існуючої моделі

відстеження дислокації рухомих одиниць на елементах колійного розвитку району диспетчерського управління.

2. Розроблено загальну поїзну модель, яка формується в реальному масштабі часу на базі інформації про стан дільниць і станцій, та на відміну від існуючих, більш адекватно описує рух поїздів. Розроблено модель колійного розвитку полігону, адаптовану під функціональність загальної моделі.

3. На підставі порівняння з теорією кінцевих автоматів обґрунтовано можливість використання математичного апарата нейронних мереж для моделювання роботи станційних пристроїв автоматики. Розроблено нейромережну модель функціонування при розподільному управлінні стрілками та сигналами. На підставі експериментальних досліджень розраховано поріг спрацювання нейронів останнього шару, який дорівнює 0,7. Сформульовано принципи побудови нейронної мережі для маршрутного управління.

4. Досліджено часову ознаку функціонування рейкових ділянок, за інформацією системи диспетчерської централізації. Для більшості блок-дільниць автоблокування, при встановленій швидкості руху, час їх заняття не може бути меншим за 30 сек. На підставі цього, показана можливість підвищення вірогідності інформації про наявність рухомої одиниці на елементі колійного розвитку.

5. Розроблено моделі функціонування колійної дільниці. Доведено, що при синтезі моделей можливо використання як методів інтегрального числення, різницевих рівнянь, так і нейронних мереж.

6. Розроблено модель функціонування колійної дільниці з використанням нейронної мережі зворотного поширення помилки та методу її навчання за інформацією графіка виконаного руху поїздів. На підставі експериментальних досліджень доведена адекватність моделі стану перевізного процесу (вірогідність 87% для мережі з 5-ю нейронами у другому шарі, та 93% з 15-ю нейронами).

7. Показано перспективу застосування нейронної мережі, що функціонує по генетичному алгоритму. Складено алгоритми і програмну реалізацію моделей на основі сучасних апаратних засобів і мов програмування високого рівня, що дозволило реалізувати інтеграцію в існуючі автоматизовані системи з мінімальними витратами.

Результати дисертаційної роботи були використані при розробці автоматизованої системи знімання інформації про проходження поїздів по міждержавних і міждорожних стикових пунктах (АСП СП) у вигляді технічних пропозицій щодо розробки алгоритмів роботи програмного забезпечення АСП СП; експериментальних даних з дослідження викривлень сигналів ТС систем диспетчерської централізації; методик розрахунку та моделювання проходження поїзда по елементах колійного розвитку полігону диспетчерського управління.

Крім цього, результати дисертаційної роботи були використані при розробці програмно-технічного комплексу “АРМ електромеханіка ДЦ ЛУЧ” на ІСЦ Донецької залізниці та впроваджені у дослідну експлуатацію на ділянці Мандрикіно-Рутченково Донецької залізниці.

Розроблена в дисертаційній роботі модель функціонування пристроїв автоматики використовується в навчальному процесі та дипломному проектуванні студентів кафедри “АТЗ та ОТ” Донецького інституту залізничного транспорту.

Впровадження результатів роботи підтверджується відповідними актами.

## **СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ**

1. Мойсеєнко В. И., Поддубняк В. И., Чепцов М. Н. Моделирование технологических процессов в системах железнодорожной автоматики // Збірник наукових праць Київського інституту залізничного транспорту.-Том 3. - 1999. - С. 66-73.
2. Мойсеєнко В. И., Чепцов М. Н. Использование нейронных сетей для моделирования в системах диспетчерской централизации // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. - 3/1999. - Харків. - С. 38-42.
3. Мойсеєнко В. И., Чепцов М. Н. Моделирование поездной ситуации на станции // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. -6/1998. - Харків. - С. 6-8
4. Чепцов М. Н. К вопросу повышения достоверности информации в системах диспетчерского управления // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. - 6/2000. - С. 56-57.
5. Чепцов М. Н. Метод оценки технического состояния объектов автоматики // Залізничний транспорт України. - 5-6/2000. - С. 86.

## **АНОТАЦІЯ**

Чепцов М. М. Динамічна поїзна модель району диспетчерського управління. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук по спеціальності 05.22.20 – “Експлуатація та ремонт засобів транспорту”. – Харківська державна академія залізничного транспорту. Харків, 2001.

Дисертаційна робота присвячена удосконаленню автоматизованої системи відстеження дислокації рухомих одиниць на елементах колійного розвитку району диспетчерського управління. У роботі розроблено загальну динамічну поїзну модель та модель колійного розвитку полігону диспетчерського управління. Розроблено нейромережну модель функціонування пристроїв



станційної автоматики та сформульовано принципи побудови нейронних мереж при маршрутному управлінні. У роботі досліджено часову ознаку функціонування колійного кола за інформацією системи диспетчерської централізації у взаємодії з графіком руху поїздів, розроблено нейромережну модель функціонування колійної дільниці.

Основні наукові результати роботи знайшли практичне застосування: при розробці автоматизованої системи знімання інформації про проходження поїздів по міждержавних і міждорожніх стикових пунктах (АСПІ СП); при розробці програмно-технічного комплексу “АРМ електромеханіка ДЦ ЛУЧ” на ІСЦ Донецької залізниці.

Ключові слова: диспетчерське управління, модель району управління, диспетчерська централізація, графік руху поїздів, колійна дільниця, нейрон, нейронна мережа.

## **THE SUMMARY**

Cheptsov M. N. Dynamic train model in region of dispatcher control. - Manuscript.

Thesis on a scientific degree award of the candidate of technical science on a specialty 05.22.20 – “Operation and maintenance of transport means” – Kharkov State Academy of Railway Transport. Kharkov, 2001.

The dissertation is devoted to the improvement of automated systems in tracing dislocation of rolling units on elements of way development in dispatcher control. In work designed general dynamic train model and model of travel development of firing range of traffic management. General dynamic train model and way development model on testing ground of dispatcher control was designed in this work. Neuronet model of operation in devices of station automation was worked out. Principles of building neuron networks in route management were formulated. Time sign of operation in rail distribution system on information of dispatcher’s CTC (centralized traffic circuit) system in the interaction with graph of train movement was investigated. Neuronet operation model of track area was elaborated.

Main scientific results of work have found practical application in designing automatic systems of removing information on running trains in interstate and interway joint points as well as in developing software-technical complex “AWS electromechanic” on ISC Donetsk railway.

Keywords: dispatcher control, model of region management, dispatcher CTC system, graph of train movement, track area, neuron, neuron network.

## **АННОТАЦИЯ**

Чепцов М. Н. Динамическая поездная модель района диспетчерского управления. - Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.22.20 - "Эксплуатация и ремонт средств транспорта". - Харьковская государственная академия железнодорожного транспорта. Харьков, 2001.

Диссертация посвящена усовершенствованию автоматизированной системы отслеживания дислокации подвижных единиц на элементах путевого развития района диспетчерского управления. В работе произведен анализ структуры, технических средств и информационного обеспечения системы оперативного управления движением поездов. Разработана общая поездная модель и модель путевого развития полигона, адаптированная под функциональность общей модели. Показано, что при синтезе этих моделей наиболее предпочтительно применение методов векторной алгебры.

На основе сравнения с методами теории конечных автоматов обоснована возможность применения математического аппарата нейронных сетей для моделирования работы станционных устройств автоматики. В диссертации разработана нейросетевая модель функционирования при раздельном управлении стрелками и сигналами, а также сформулированы принципы построения нейронных сетей для маршрутного управления.

В работе исследован временной признак функционирования путевых участков по информации системы диспетчерской централизации. Показана возможность повышения достоверности информации о наличии подвижной единицы на элементе путевого развития.

В диссертации разработана модель функционирования путевого участка. Показано, что при моделировании возможно применение, как методов интегрального исчисления, так и нейронных сетей. Произведен синтез модели функционирования путевого участка на основе нейронной сети обратного распространения ошибки. Разработана методика обучения сети по информации графика движения поездов. На основе экспериментальных исследований доказана адекватность модели состоянию перевозочного процесса. В диссертации рассмотрена перспектива применения нейронной сети, функционирующей по генетическому алгоритму. Разработаны алгоритмы и программная реализация моделей на основе применения современных аппаратных средств и языков высокого уровня.

Основные научные результаты работы нашли практическое применение при разработке автоматизированной системы снятия информации о прохождении поездов по межгосударственным и междорожным стыковым пунктам, а также при разработке программно-технического комплекса "АРМ электромеханика ДЦ ЛУЧ" на ИСЦ Донецкой железной дороги.

Ключевые слова: диспетчерское управление, модель района управления, диспетчерская централизация, график движения поездов, путевой участок, нейрон, нейронная сеть.