

## КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОПОЇЗДАМИ МЕТРОПОЛІТЕНУ НА ОСНОВІ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ АДАПТИВНОЇ РЕЗОНАНСНОЇ ТЕОРІЇ

### *Частина 1. Побудова асоціативної пам'яті на основі нейронних мереж адаптивної резонансної теорії*

*Представив д-р техн. наук, професор М.М. Бабаєв*

**Вступ, аналіз публікацій, формулювання задачі дослідження.** Оптимальне керування моторвагонним рухомим складом припускає вирішення завдання руху поїзда з мінімальними витратами енергії за умови виконання графіка руху по перегону й дотриманням діючих обмежень на швидкість руху, прискорення й керування.

Поїзди метрополітену відзначаються високою динамікою й забезпеченням комфортності перевезення пасажирів. Основна маса експлуатованих вагонів метрополітену (Е, ЕЖ, 81-717 та ін.) обладнана тяговими двигунами (ТД) постійного струму з послідовним збудженням [1-4]. Регулювання частоти обертання ТД здійснюється зміною напруги на їхніх затискачах: перемикання з'єднання двигунів з послідовного на паралельне, увімкнення додаткового резистора в коло якоря й ослаблення збудження за допомогою шунтування обмотки збудження. Ступеням ослаблення обмотки збудження відповідають ходові позиції, коли напруга на затискачах ТД не обмежується пускогальмовими резисторами.

Для регулювання опору в режимі пуску використовується груповий контролер. При послідовному з'єднанні ТД передбачено 16 пускових позицій реостатного контролера (РК), 17-та позиція відповідає автоматичній характеристиці повного збудження. Обертання вала РК на

всіх ходових позиціях відбувається під контролем реле прискорення й гальмування (РПГ) за допомогою електродвигуна постійного струму. Швидкість обертання РК і його хронометричний хід регулюються змінними опорами в колі електродвигуна привода РК. РПГ, залежно від ступеня завантаження вагона, підйому або спуску на перегоні, настраюється на певний струм уставки. Так, при навантаженому вагоні або при русі на граничному підйомі РПГ настраюється на максимальне пускове значення струму двигуна (Іпуск.мах), для порожнього вагона або при русі на спуску – на значення  $\sim 0,8$  Іпуск.мах. На рис. 1, 2 наведені пускогальмові діаграми вагонів метрополітену 81-717 і Е [5]. На діаграмах показані струми уставки РПГ залежно від завантаженості вагона. На перших семи позиціях (для порожнього вагона) і на перших десяти (для навантаженого вагона) відбувається хронометричне обертання РК із уповільненим переходом з позиції на позицію за час 0,2 с при ослабленому збудженні; а починаючи з 8-ї, або з 11-ї позиції, вал РК обертається під контролем РПГ з повним магнітним потоком. Уповільнене обертання РК на перших позиціях при ослабленому збудженні виконане для плавності пуску поїзда. Аналогічно виконане гальмування вагона.

На рис. 3 наведена типова діаграма процесу руху поїзда Харківського метрополітену по перегону між двома станціями.



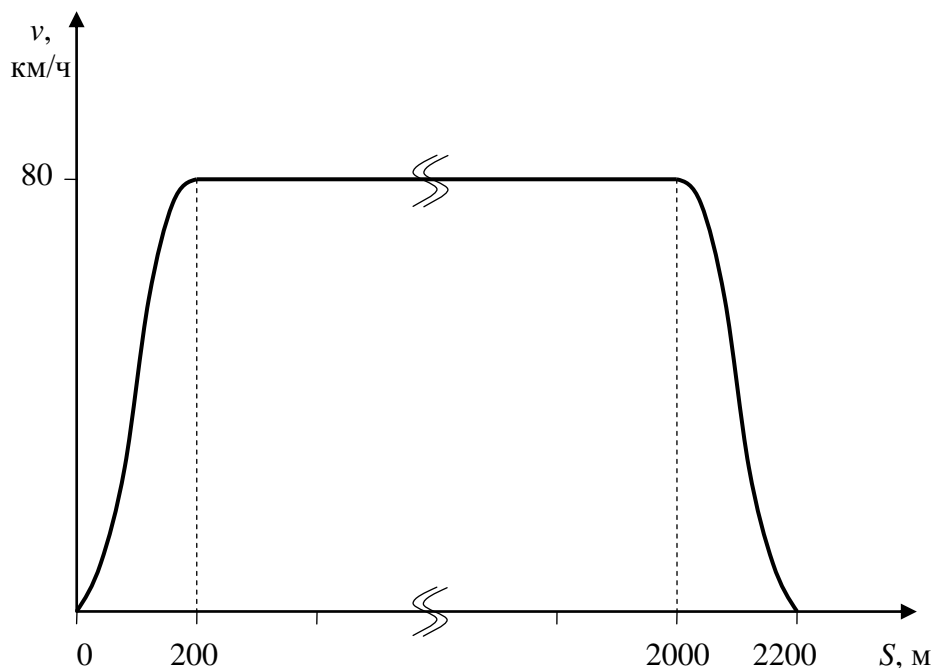


Рис. 3. Типова діаграма процесу руху поїзда Харківського метрополітену

**Мета дослідження.** Побудова асоціативної пам'яті на основі нейронних мереж адаптивної резонансної теорії для реалізації процесу оптимального керування електропоїздами метрополітену.

**Основна частина.** У розвинених країнах протягом десятиліть застосовуються системи автоматичного ведення поїздів метро за допомогою засобів обчислювальної техніки. Такі системи припускають зберігання в пам'яті комп'ютера законів керування составом на кожному перегоні з урахуванням графіка руху й завантаження состава. Зберігання інформації в пам'яті комп'ютера може бути організоване різними способами, один з них – використання асоціативної пам'яті на основі нейронних мереж. Оскільки при експлуатації електропоїздів метрополітену може з'явитися додаткова інформація (наприклад пов'язана з появою нових станцій), то цю пам'ять необхідно виконувати на основі нейронних мереж, які можуть запам'ятовувати додаткову інформацію без спотворень уже наявної або повного перенавчання нейронної мережі.

До таких мереж належать нейронні мережі адаптивної резонансної теорії [6-8], зокрема дискретна нейронна мережа АРТ-1, архітектура якої наведена на рис. 4.

Оснóву архітектури нейронної мережі утворюють три шари нейронів: шар вхідних бінарних *S-нейронів*; шар інтерфейсних бінарних *Z-нейронів* і шар розпізнавальних *Y-нейронів*. Керування нейронами *Z*- і *Y-шарів* здійснюється за допомогою керуючих нейронів  $G_1$ ,  $G_2$  і розв'язувального нейрона  $R$ . Вхідний шар бінарних нейронів сприймає вхідну інформацію, закодовану нулями й одиницями, і передає її *Z*-елементам інтерфейсного шару і нейронам  $G_1$ ,  $G_2$  і  $R$ . Нейрони *Z*- і *Y-шарів* переходять в активний стан за правилом "два із трьох" – при наявності сигналів із двох різних джерел. Тому *Z-нейрони* можуть перейти в активний стан тільки при наявності одиничного сигналу на виході *S-нейрона* й одиничного сигналу з виходу *Y-нейрона* або керуючого нейрона  $G_1$ . Керуючі нейрони  $G_1$  і  $G_2$  переводяться в активний стан одиничним сигналом з виходів *S*-

нейронів. Будь-який нейрон  $Y$ -шару своїм одиничним сигналом загальмовує керуючий нейрон  $G_1$ , тому нейрони  $Z$ -шару можуть бути переведені в активний стан тільки при наявності одиничних сигналів на виходах елементів вхідного шару. При

первісній подачі на вхід нейронної мережі деякого вхідного зображення нейрони  $Z$ -шару переводяться в активний стан за правилом "два із трьох" одиничними сигналами елементів  $S$ -шару й керуючого нейрона  $G_1$ .

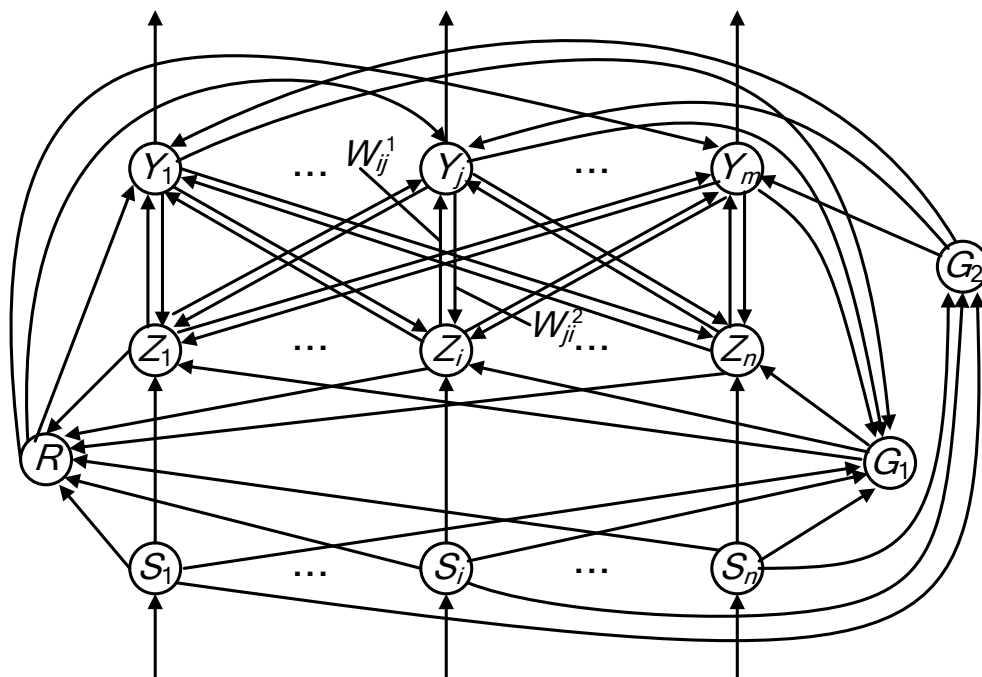


Рис. 4. Архітектура нейронної мережі АРТ-1

Одиничні сигнали з виходів  $Z$ -нейронів надходять на входи  $Y$ -елементів по зв'язках з вагами  $W_{ij}^1$  ( $i = \overline{1, n}; j = \overline{1, m}$ ). Кожний  $Y$ -нейрон розраховує свій вхідний і вихідний сигнали. Шар розпізнавальних  $Y$ -нейронів є шаром конкуруючих нейронів. За допомогою додаткової мережі (на рис. 4 непоказана) з  $Y$ -шару вибирається один нейрон-переможець із максимальним вихідним сигналом (якщо кілька  $Y$ -нейронів мають однакові вихідні сигнали, то вибирається  $Y$ -елемент із мінімальним індексом). Після цього в шарі розпізнавальних елементів активним залишається тільки один нейрон-переможець  $Y_j$  ( $U_{\text{виху}j} = 1$ ), інші нейрони мають нульові або від'ємні вихідні сигнали.

Нульовий сигнал на виході  $Y$ -нейрона означає, що нейрон неактивний, але може брати участь у змаганні при наступному поданні вхідного зображення. Від'ємний сигнал на виході деякого розпізнавального елемента  $Y_j$  ( $U_{\text{виху}j} = -1$ ) означає, що нейрон  $Y_j$  загальмований і не допускається до участі в змаганнях нейронів при даному вхідному зображенні. Вихідний сигнал нейрона-переможця переводить у неактивний стан керуючий нейрон  $G_1$  і надходить на входи всіх нейронів інтерфейсного шару. В активний стан переходять тільки ті  $Z$ -нейрони, на входи яких одночасно надходять одиничні сигнали з виходів вхідних нейронів і нейрона-переможця  $Y_j$ . Одиничні сигнали активних  $Z$ - і  $S$ -елементів надходять на

входи розв'язувального нейрона  $R$ , який розраховує параметр подібності між вхідним зображенням і зображенням, що зберігається у вагах зв'язків нейрона-переможця  $YJ$ :

$$p = \|Z_{\text{ВЫХ}}\| / \|S_{\text{ВЫХ}}\|,$$

де  $p$  – параметр подібності зображень;

$\|Z_{\text{ВЫХ}}\|$  – норма зображення, що зберігається у вагах зв'язків нейрона-

переможця,  $\|Z_{\text{ВЫХ}}\| = \sum_{i=1}^n U_{\text{ВЫХ}Z_i}$  ;

$\|S_{\text{ВЫХ}}\|$  – норма вхідного зображення,

$$\|S_{\text{ВЫХ}}\| = \sum_{i=1}^n U_{\text{ВЫХ}Z_i} ;$$

$U_{\text{ВЫХ}Z_i}$  – вихідний сигнал нейрона  $Z_i$ .

Якщо отримане значення параметра подібності дорівнює або більше заданого значення параметра подібності ( $P3$ ) і нейронна мережа функціонує в режимі розпізнавання, то вхідне зображення розпізнається таке, що належить до класу, еталонне зображення якого зберігається у вагах зв'язків нейрона  $YJ$ . Якщо нейронна мережа функціонує в режимі навчання, то

при  $p \geq P3$  відбувається навчання ваг зв'язків нейрона  $YJ$  вхідним зображенням. Якщо виконується умова  $p < P3$ , то нейрон-переможець загальмовується й починається пошук нового нейрона-переможця в шарі розпізнавальних нейронів. Якщо в режимі навчання всі розподілені нейрони  $Y$ -шару (тобто всі елементи зберігають у вагах зв'язків якісь зображення) виявляються загальмованими, то вхідне зображення запам'ятовується одним з нерозподілених  $Y$ -нейронів. Якщо виявляються загальмованими всі розподілені  $Y$ -нейрони в режимі розпізнавання, то це означає, що вхідне зображення не належить до жодного із класів, що зберігаються у вагах зв'язків нейронної мережі.

**Висновок.** Ураховуючи досить швидкі процеси пуску й гальмування вагонів метрополітену й відносно невеликі відстані між станціями, становить практичний інтерес оптимізація руху поїзда по всій лінії за допомогою нейронних мереж адаптивної резонансної теорії з використанням асоціативної пам'яті дискретної нейронної мережі АРТ-1, яка може запам'ятовувати додаткову інформацію без спотворення вже наявної або повного перенавчання нейронної мережі.

### Список літератури

1. Баранов, Л.А. Учет системы энергоснабжения при проведении тяговых расчетов для поездов метрополитена [Текст] / Л.А. Баранов, В.Г. Сидоренко, М.А. Васильева // Межвуз. сб. науч. трудов. – Самара: СамИИТ, 2001. – № 21. – С. 97-100.
2. Астрахан, В.И. Системы автоведения для управления поездами метрополитена [Текст] / В.И. Астрахан, Ю.А. Барышев. – М.: Транспорт, 1989. – 88 с.
3. Лисенков, В.М. Двухканальная микропроцессорная система АРС для обеспечения безопасности движения поездов метрополитена [Текст] / В.М. Лисенков, Г.С. Лодыгин, П.Ф. Бестемьянов // Единый ряд систем управления движением поездов: межвуз. сб. науч. трудов. – М.: МИИТ, 1990. – С. 68-78.
4. Блиндюк, В.С. Аналіз основних етапів розвитку систем автоматичного керування рухом на залізничному транспорті та в метрополітенах [Текст] / В.С. Блиндюк // Зб. наук. праць. – Харків: УкрДАЗТ, 2011. – Вип. 126. – С. 86-90.

5. Устройство и ремонт электропоездов метрополитена [Текст]: учеб. для ПТУ / Э.А. Сементовский, А.А. Богданов, В.С. Гусев Ю.Я. Могильнер; под ред. Э.А. Сементовского. – М.: Транспорт, 1991. – 335 с.

6. Дмитриенко, В.Д. Основы теории нейронных сетей [Текст] / В.Д. Дмитриенко, Н.И. Корсунов. – Белгород: БИИММАП, 2001. – 159 с.

7. Fausett I. Fundamentals of Neural Networks. Architectures, Algorithms, and Application. – New Jersey: Prentice Hall International, Inc., 1994. – 461 p.

8. Моделирование и оптимизация систем управления и контроля локомотивов [Текст] / В.И. Носков, В.Д. Дмитриенко, Н.И. Заполовский, С.Ю. Леонов. – Харьков: ХФИ "Транспорт Украины", 2003. – 248 с.

**Ключові слова:** тяговий двигун, контролер, струм, нейрон, нейронна мережа, асоціативна пам'ять.

### *Анотації*

Розглянуто метод оптимального керування електропоїздами метрополітену, який пропонується реалізувати на основі нейронних мереж адаптивної резонансної теорії з використанням асоціативної пам'яті дискретної нейронної мережі АРТ-1.

Рассмотрен метод оптимального управления электропоездами метрополитена, который предлагается реализовать на основе нейронных сетей адаптивной резонансной теории с использованием ассоциативной памяти дискретной нейронной сети АРТ-1.

The method of optimum control is considered by electric trains of underground which is offered to be implemented on the basis of neural networks of the adaptive resonant theory with usage of associative memory of discrete neural network АРТ-1.