

Подготовка кадров

Теория  
автоматизированного  
электропривода

Электромеханические  
системы автоматизации  
технологических  
процессов

Нейронные,  
генетические  
алгоритмы и  
фаззи-логика в  
электромеханике

Современные  
системы  
промышленного  
электропривода

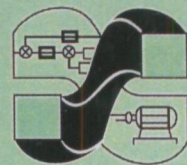
Диагностика  
электромеханических  
систем

Дискуссии

Информационные  
сообщения

Сборник научных трудов Днепропетровского государственного технического университета  
(технические науки) • Тематический выпуск

# ПРОБЛЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА



ПРОБЛЕМИ АВТОМАТИЗОВАНОГО  
ЕЛЕКТРОПРИВОДА  
Теорія і практика

PROBLEMS OF AUTOMATED  
ELECTRODRIVES  
Theory and practice

DIE PROBLEME DES AUTOMATISIERTEN  
ELECTROANTRIEBES  
Die theorie und die praxis



Днепропетровск  
2007

Подготовка кадров

Теория  
автоматизированного  
электропривода

Электромеханические  
системы  
автоматизации  
технологических  
процессов

Нейронные сети,  
генетические  
алгоритмы и  
фаззи - логика в  
электромеханике

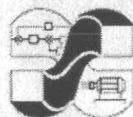
Современные  
системы  
промышленного  
электропривода

Диагностика в  
электромеханических  
системах

Энергосбережение  
средствами  
электропривода

Программа конференции

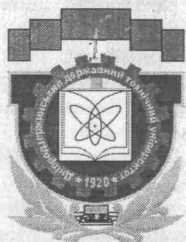
# ПРОБЛЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА



ПРОБЛЕМИ АВТОМАТИЗОВАНОГО  
ЕЛЕКТРОПРИВОДА  
Теорія і практика

PROBLEMS OF AUTOMATED ELECTRODRIVES  
Theory and practice

DIE PROBLEME DES AUTOMATISIERTEN  
ELECTROANTRIEBES  
Die theorie und die praxis



17-22 сентября 2007 г.  
АР Крым  
Николаевка  
Пансионат "Энергетик"

**Министерство образования и науки Украины  
Днепропетровский государственный технический университет**

**ЗБІРНИК  
НАУКОВИХ ПРАЦЬ  
ДНІПРОДЗЕРЖИНСЬКОГО ДЕРЖАВНОГО  
ТЕХНІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ  
(ТЕХНІЧНІ НАУКИ)  
ТЕМАТИЧНИЙ ВИПУСК**

**СБОРНИК  
НАУЧНЫХ ТРУДОВ  
ДНЕПРОДЗЕРЖИНСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО  
ТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА  
(ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ)  
ТЕМАТИЧЕСКИЙ ВЫПУСК**

**ПРОБЛЕМЫ  
АВТОМАТИЗИРОВАННОГО  
ЭЛЕКТРОПРИВОДА  
ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА**

**К 50-ти летию кафедры «Электрооборудование»  
Днепропетровского государственного технического  
университета**

**Днепропетровск  
2007**

## УДК 62-83:681.5

Збірник наукових праць Дніпродзержинського державного технічного університету (технічні науки). Тематичний випуск «Проблеми автоматизованого електропривода. Теорія й практика»/ Дніпродзержинськ: ДДТУ, 2007.- 607с

Сборник научных трудов Днепродзержинского государственного технического университета (технические науки). Тематический выпуск «Проблемы автоматизированного электропривода. Теория и практика»/ Днепродзержинск: ДДТУ, 2007. - 607 с

У збірнику представлені результати наукових досліджень і розробок, які виконані викладачами, докторантами й аспірантами вищої школи, науковими співробітниками науково-дослідних і проектно-конструкторських організацій, працівниками промислових підприємств України, Росії, Німеччини, Італії та інших країн.

Викладено нові методи аналізу, синтезу й діагностики електромеханічних систем, розробки сучасних промислових електроприводів та їх елементів. Велика увага приділена питанням енергозбереження. Наведено результати робіт з використанням нейронних мереж і фаззи-логіки для вдосконалення законів керування електромеханічними системами.

В сборнике представлены результаты научных исследований и разработок, выполненных преподавателями, докторантами и аспирантами высшей школы, научными сотрудниками научно-исследовательских и проектно-конструкторских организаций, работниками промышленных предприятий Украины, России, Германии, Италии и других стран.

Изложены новые методы анализа, синтеза и диагностики электромеханических систем, разработки современных промышленных электроприводов и их элементов. Большое внимание уделено вопросам энергосбережения. Приведены результаты работ с использованием нейронных сетей и фаззи-логики для совершенствования законов управления электромеханическими системами.

In the collection are submitted results scientific researches and the development executed by teachers, PhD and post-graduate students of the higher school, scientific employees of the research and design organizations, workers of the industrial enterprises of Ukraine, Russia, Germany, Italy and other countries.

New methods of the analysis, synthesis and diagnostics of electromechanical systems, development of modern industrial electric drives, their elements are stated. The big attention is given to questions energysaving. Results of works with use of neural networks and fuzzy-logic for perfection of laws of management by electromechanical systems are resulted.

Редакционная коллегия:

д.т.н. Акимов Л.В., д.т.н. Андриенко П.Д., д.т.н. Андрущенко О.А., д.т.н. Бешта А.С., к.т.н. Бондаренко В.И., д.т.н. Водичев В.А., д.т.н. Герасимьяк Р.П., д.т.н. Грабко В.В., к.т.н. Калашников В.И., д.т.н. Кириленко А.В., д.т.н. Клепиков В.Б., д.т.н. Кузнецов Б.И., д.т.н. Лозинский О.Ю., д.т.н. Мокин Б.И., к.т.н. Мотченко А.И., д.т.н. Низимов В.Б. (зам. ответственного редактора выпуска), д.т.н. Пивняк Г.Г., д.т.н. Попович Н.Г., д.т.н. Родькин Д.И., д.т.н. Садовой А.В. (ответственный редактор выпуска), д.т.н. Синолицый А.Ф., к.т.н. Сохина Ю.В. (ответственный секретарь выпуска), д.т.н. Толочко О.И., д.т.н. Черный А.П., к.т.н. Шамардина В.Н.

Свидетельство о государственной регистрации – серия КВ №4990 от 28.03.2001г.

Постановлением президиума ВАК Украины от 04.07.2006 №1-05/7 сборник научных трудов Днепродзержинского государственного технического университета включен в перечень №18 научных специальных изданий Украины.

Редакционная коллегия выражает искреннюю благодарность спонсорам, которые способствовали изданию этого сборника: НИИ «Преобразователь» (директор Ильин А.Г.), Национальный горный университет (ректор Пивняк Г.Г.), Винницкий национальный технический университет (ректор Мокин Б.И.), НТУ «ХПИ» (ректор Товажнянский Л.Л.), филиал ИТЦ «Сименс-Украина» г. Донецк (координатор программы «S2B» Калашников В.И.), УкрНИИВЭ (директор Вареник Е.А.), ООО «Электроналадка» г. Сумы (директор Крикуненко Г.И.), «Первая инженерная компания» г. Одесса (директор Марущак С.Г.), НИП «Дія» г. Днепродзержинск (директор Тищенко Н.Т.), Донецкое отделение украинской ассоциации инженеров-электриков (председатель Горбачев Н.В.), Консалтинговая компания «Abacus» г. Киев (директор Лесик М.Л.).

Печатается по решению Ученого совета  
Днепродзержинского государственного технического университета  
от 27.06.2007 № 10

©Днепродзержинский государственный  
технический университет, 2007

## ДО ПИТАНЬ ОПТИМІЗАЦІЇ РУХУ МІСЬКОГО ЕЛЕКТРОТРАНСПОРТУ

**Вступ.** На даний час все більшої актуальності набуває саме міський електротранспорт як найбільш екологічно чистий, а за великої завантаженості головних транспортних шляхів міста, то і найбільш швидкий. Але заре майже в усіх транспортних управліннях існує проблема з необхідною кількістю одиниць рухомого складу, оскільки застарілі машини часто виходять з ладу і потребують заміни або капітального ремонту. Поряд із цим, транспортним управлінням потрібно вирішувати задачі: 1) необхідно організувати рух електротранспорту таким чином, щоб повністю задовольнити потреби перевезення пасажирів з найбільш можливими якістю та комфортом; 2) зменшити кількість машин рухомого складу, які знаходяться на маршруті, при максимальній їх завантаженості. Як видно, потрібно одночасно вирішувати дві актуальні задачі, перша з яких передбачає збільшення вагонів на маршрутах, а друга навпаки, їх зменшення для виключення можливих „холостих” рейсів. Тому така задача є непростюю і може розв’язуватися неоднозначно за наявності зовнішніх факторів.

Аналіз доступних літературних джерел показав, що даною проблемою в Україні на рівні міського господарства практично ніхто не займається, хоча актуальність її не викликає сумніву як на даний момент часу, так і в майбутнє.

В попередніх дослідженнях, зокрема в роботі [1], запропоновано принцип побудови розкладу руху електротранспорту, розроблено узагальнену модель його функціонування, побудовано алгоритм функціонування програми проектування розкладу руху електротранспорту, який реалізує запропоновану модель, а в роботах [2, 3] розроблено програму „Розрахунок розкладу руху електротранспорту” (рис. 1), призначену для складання моделі руху міського електротранспорту та адаптовану під умови міста Вінниці.

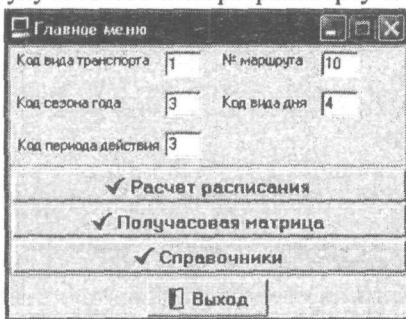


Рис. 1. Головне меню (російськомовний інтерфейс)

**Вихідні передумови.** Розглянемо особливості випуску вагонів на маршрути та їх типи.

Кількість рухомого складу розраховується по кожній годині доби окремо, але в деяких випадках цей інтервал може бути зменшено до 30 або 15 хвилин [4].

Для правильного складання розкладу руху потрібно, щоб у часи „пік” весь рухомий склад знаходився на маршруті. При розгляді ранкового періоду часу та передвечірнього (характеризується найбільшим навантаженням на транспорт) спочатку визначається сумарний пасажиропотік усіх маршрутів та розраховується середнє навантаження на кожну одиницю транспорту. Якщо місткість рухомого складу різна, то за одиницю приймається нормальна місткість машини з розрахунку 5-7 осіб на 1 м<sup>2</sup>, а всі інші типи машин приводяться до цієї величини.

Далі за цими даними визначається кількість машин на кожному з маршрутів, виходячи з наявної кількості робочих машин [4].

При постановці на обід та інших перервах у роботі випусків (простої в депо, заїзд у депо, планові та незаплановані технічні перевірки тощо) параметри руху суттєво змінюються.

Кількість машин протягом ранкових та вечірніх „піків” для робочого дня дещо відрізняється, причому на ранковий час „пік” (з 7<sup>00</sup> до 9<sup>30</sup>) потрібно зазвичай більшу кількість випусків, ніж на вечірній (17<sup>00</sup> – 19<sup>00</sup>). На протязі робочих годин (9<sup>00</sup>-13<sup>00</sup>, 14<sup>00</sup>-17<sup>00</sup>) та на протязі обідньої перерви спостерігається зменшення пасажиропотоку. Тому для задоволення потреб в пасажироперевезенні на ці періоди потрібна мінімальна кількість випусків. При сході машин рухомого складу з маршрутів буде з’являтися нерівномірність в інтервалах між випусками та збільшення їх тривалості, при цьому значно погіршується якість та комфорт пасажироперевезень.

Правильно розрахувавши кількість машин на маршруті в кожен період часу, можна визначити точну кількість різних випусків на маршруті, завдяки чому можливим є оптимальне складання розкладу руху, випусків окремого маршруту.

В залежності від специфіки роботи на маршруті типи випусків бувають такими [2]: «наскрізні», в яких бригади (водій та кондуктор) працюють у дві зміни, і машина знаходиться на маршруті від початку до закінчення роботи (можуть мати обідні перерви в залежності від складеного розкладу); «однотимові» – випускаються на ранковий час „пік” для покращення якості перевезення пасажирів. Працюють лише одну зміну, весь інший час знаходяться в депо або на іншому маршруті (можуть мати обідні перерви в залежності від розкладу руху); «розривні» – випуски, в яких бригади працюють у дві зміни, але під час зменшення пасажиропотоку знаходяться в депо на техогляді або плановому ремонті в період з 9<sup>30</sup> до 14<sup>30</sup>. Перерва між змінами повинна бути не менша 2 год. та не більша 6 год. У цього виду випуску немає обідньої перерви, тому що зміна триває, як правило, не більше 3 – 4 год. Тобто розривні випуски, як правило, випускають на ранкові та вечірні пікові періоди для покращення пасажироперевезень, завдяки чому досягається вища ефективність маршруту в цілому.

В роботі [3] для попереднього планування розкладу руху використовується півгодинна матриця (рис. 2). В ній в півгодинному масштабі містяться дані про рух кожного випуску, які позначаються спеціальними кодами. Сюди ж заносяться дані про час роботи вагону в обох змінах та коди станцій початку й закінчення роботи. Ці дані визначають кількість машин на маршруті, станції початку й закінчення роботи та розміщення обідніх перерв.

Рис. 2. Вікно програми корегування півгодинної матриці

обхідно організувати рух електротранспорту таким чином, щоб повністю задовольнити потреби перевезення пасажирів з найбільш можливими якістю та комфортом та зменшити кількість машин рухомого складу, які знаходяться на маршруті, при максимальній їх завантаженості.

**Методи визначення кількості розривних випусків.** Визначення кількості розривних випусків, які потрібно буде випустити на маршрут для покращення його якісних характеристик, може проводитись двома методами.

**Метод 1.** Потрібна кількість вагонів на маршруті  $N_i$  визначається за кількістю рівних розрахункових періодів у добу (при зміні періоду може відбуватись зміна параметрів маршруту), виходячи з пасажиропотоку, місткості машин та часу оборотного рейсу [5]:

$$N_i = \frac{P_i \cdot t_{obi}}{T_i \cdot m}, \quad (1)$$

де  $P_i$  – величина пасажиропотоку на найбільш завантаженій ділянці маршруту за  $i$ -й період;  $t_{obi}$  – час оборотного рейсу за  $i$ -й період;  $T_i$  – тривалість  $i$ -го періоду доби;  $m$  – розрахункова ємність рухомого складу.

Оскільки необхідна кількість машин визначається для кожного інтервалу часу окремо, то, визначивши максимальну кількість машин на маршруті  $N_{max1}$  (максимальна кількість машин випускається на ранковий час „пік”), кількість машин, яка потрібна на вечірній час „пік”  $N_{max2}$ , та найменшу кількість машин  $N_{min}$ , яка знаходиться на маршруті між цими двома інтервалами

$$N_{min} = \inf N_i, \quad i = \overline{1, n}, \quad (2)$$

можна визначити необхідну кількість розривних випусків  $N_p$ :

$$N_p = N_{max2} - N_{min}. \quad (3)$$

**Метод 2.** Визначається бажаний інтервал руху між випусками маршруту на вечірній час „пік”  $\gamma_{26}$  із врахуванням того, що основний і найменший інтервал руху  $\gamma_{min}$  задаються на ранковий час „пік”, тобто обов’язково повинна враховуватись умова  $\gamma_{min} \leq \gamma_{26}$ . Бажаний інтервал руху у вечірній час пік  $\gamma_{26}$  порівнюється з фактичним  $\gamma_{2ф}$ :  $\Delta = \gamma_{2ф} - \gamma_{26}$ . Виходячи з цього, можна сформулювати такі правила корегування руху:

$$\begin{cases} \Delta < 0 \Rightarrow N_p = N_{2ф} - N_{26}, \\ \Delta = 0 \Rightarrow N_p = N_{2ф} = N_{26}, \\ \Delta > 0 \Rightarrow N_p = N_{26} - N_{2ф}, \end{cases} \quad (4)$$

де  $N_{2ф}$  – фактична кількість машин на маршруті у вечірній час „пік”;  $N_{26}$  – бажана кількість машин на маршруті у вечірній час „пік”.

Як видно з виразів (4), у першому випадку потрібно зменшувати кількість машин на маршруті, в третьому – потрібно ввести на маршрут відповідну кількість розривних рейсів, а при  $\Delta = 0$  – корегування руху не потрібне.

Обидва методи було розроблено та перевірено для реальних умов руху, що показало, що другий метод дає більш точні результати та дає змогу більш правильно проаналізувати й визначити параметри маршруту, способи корегування розкладу руху.

**Розстановка розривних випусків на маршруті.** Для правильної розстановки розривних випусків на марш-

руті пропонується інший метод. Він застосовується для оптимальної розстановки других змін розривних випусків (перші зміни не потребують корегування).

Спочатку визначаються початкові дані: 1) границі вечірнього часу пік (початок і закінчення); 2) тривалість робочої зміни; 3) кількість розривних та основних випусків, які будуть знаходитись на маршруті в даний час; 4) приблизний час початку робочої зміни розривних випусків. Відповідно до нормативних даних [4] приблизний час початку другої зміни розривних випусків – з 15<sup>00</sup> до 16<sup>00</sup> год.

Метод полягає в наступному:

1) знаходиться приблизний початок другої зміни розривного випуску  $T_{\text{поч}2}$ , враховуючи, що тривалість зміни повинна перекивати час вечірнього пікового навантаження:

$$t_{\text{поч}2} \in \left[ (t_{\text{зак}1} + t_{\text{пер}}) - t_{\text{обн}}, (t_{\text{зак}1} + t_{\text{пер}}) + t_{\text{обн}} \right] \quad (5)$$

мають місце обмеження:

$$\begin{cases} t_{\text{поч}2} < t_{\text{поч.пик}2}, \\ t_{\text{поч}2} + T_{\text{зм}} > t_{\text{кін.пик}2}, \end{cases} \quad (6)$$

де  $t_{\text{поч}2}$  – час початку роботи другої зміни;  $t_{\text{зак}1}$  – час закінчення першої зміни в роботі випуску;  $t_{\text{пер}}$  – час планової перерви між змінами;  $t_{\text{обн}}$  – час оборотного рейсу за період розрахунку;  $t_{\text{поч.пик}2}$  – час початку вечірнього часу пік;  $T_{\text{зм}}$  – тривалість роботи зміни;  $t_{\text{кін.пик}2}$  – час закінчення вечірнього часу пік;

2) з основних параметрів руху маршруту та півгодинної матриці вибирається станція початку другої зміни;

3) аналізується часовий ряд та інтервали між випусками даного маршруту по вибраній станції і в період часу  $t_{\text{поч}2}$ . Знаходиться найбільший з інтервалів між машинами та визначається час початку руху з цієї станції двох випусків  $t_{\text{в}1}$  та  $t_{\text{в}2}$  відповідно.

$$\gamma_{\text{max}} = \sup \gamma_i, \quad i = \overline{1, n}, \quad (7)$$

де  $\gamma_i$  – інтервал між першим та  $i$ -м випуском на даному маршруті ( $n$  – кількість випусків на даному маршруті).

Тоді фактичний час початку другої зміни  $t_{\text{поч}2\text{ф}}$  можна визначити з наступних правил:

$$\begin{aligned} \gamma_{\text{max}} \geq 2\gamma_{26} &\Rightarrow t_{\text{поч}2\text{ф}} = t_{\text{в}1} + \gamma_{26}, \\ \gamma_{\text{max}} < 2\gamma_{26} &\Rightarrow t_{\text{поч}2\text{ф}} = t_{\text{в}1} + \frac{\gamma_{\text{max}}}{2}. \end{aligned} \quad (8)$$

Алгоритм розстановки розривних випусків наведено на рис. 3.

Розроблений метод застосовується для визначення початку другої зміни усіх розривних випусків і дає змогу отримати більш точний вигляд розкладу руху окремого маршруту.

На Вінницькому підприємстві „Трамвайно-тролейбусне управління” розрахунок розкладу руху електротранспорту здійснюється з використанням програми „Розрахунок розкладу руху електротранспорту”, в якій закладено запропонований метод. Практична перевірка показала адекватність даного методу реальним процесам.

**Висновки.** Розглянуто методи оптимізації кількості розривних випусків на маршруті, що дозволяють покращити якість пасажироперевезень, врахувавши параметри руху маршруту. Запропоновано новий метод розстановки розривних випусків на маршруті, що базується на корегуванні вигляду самого маршруту, який дозволяє, на відміну від існуючих, визначити кількість розривних випусків на маршруті з більшою точністю. Розроблено програму, яка реалізує запропонований метод. Програма успішно впроваджена на Вінницькому підприємстві „Трамвайно-тролейбусне управління”.

#### Література.

1. Мокін Б.І., Розводюк М.П., Сторчак В.Г. Розробка розкладу руху електротранспорту // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2005. – №3. – С.35-38.
2. Мокін Б.І., Розводюк М.П., Сторчак В.Г. Розробка програми для проектування розкладу руху електротранспорту // Збірник тез доповідей VIII Міжнародної науково-технічної конференції “Контроль і управління в складних системах” (КУСС-2005). – Вінниця: УНІВЕРСУМ – Вінниця, 2005. – С.188.
3. Мокін Б.І., Розводюк М.П., Сторчак В.Г. Програма „Розрахунок розкладу руху електротранспорту” // Інформаційні системи та комп’ютерна інженерія. – 2005. – №6. – С.30-34.
4. Методические рекомендации по составлению расписания движения и работы поездных бригад. – К.: Министерство жилищно-коммунального хозяйства УССР, 1980. – 68 с.
5. Мокін Б.І., Розводюк М.П., Сторчак В.Г. До питання визначення необхідної кількості вагонів міського електротранспорту на маршруті // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету. – 2006. – №3. – С.34 – 36.

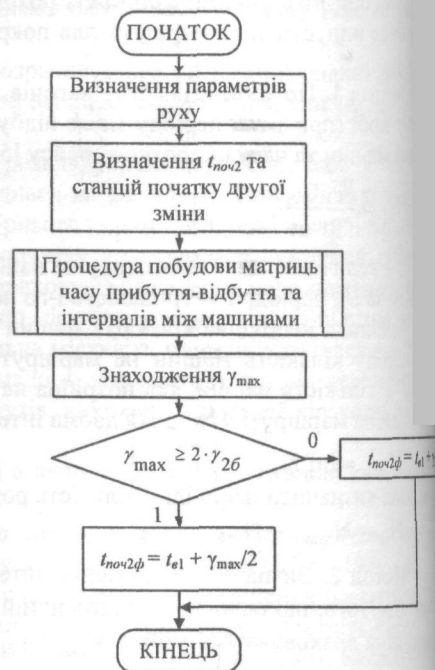


Рис. 3. Алгоритм розстановки розривних випусків, реалізований на основі запропонованого методу