

# ВИКОРИСТАННЯ НАКОПИЧУВАЧІВ ЕНЕРГІЇ В СИСТЕМІ ТЯГОВОГО ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

Вінницький національний технічний університет

## Анотація

*Запропоновано структурну схему перетворень кінетичної і потенційної енергій транспортного засобу в електричну при гальмуванні, показані способи її перерозподілу та акумулювання за допомогою різного роду накопичувальних пристроїв, сформувані критерії порівняльної оцінки накопичувальних пристроїв, на основі яких виконаний детальний аналіз накопичувачів енергії, виявлено переваги та недоліки їх використання в електротранспортному комплексі, що в подальшому дозволить підвищити ефективність використання енергії електричних гальмувань міського електричного транспорту.*

**Ключові слова:** міський електричний транспорт, система електропостачання, накопичувач енергії, контактна мережа, тяговий режим, електричне гальмування.

## Abstracts

*A detailed analysis of urban electric transport rolling distribution and use of electrical energy inhibition modes has been carried out. The criteria of energy efficiency comparative estimation of these regimes have been proposed, which allows to increase the efficiency of electric energy use of urban electric transport electric braking.*

**Keywords:** city electric transport, power supply system, recovery, contact network, energy storage, traction mode, dynamic braking.

## Вступ

Міський електричний транспорт (МЕТ) – складова частина єдиної транспортної системи, призначена для перевезення громадян трамваями, тролейбусами, поїздами метрополітену на маршрутах (лініях) відповідно до вимог життєзабезпечення населених пунктів [1].

Актуальним питанням світової енергетики є зниження електроспоживання всіх електроприймачів. Досить вагомим споживачем електричної енергії є міський електричний транспорт [1]. Щороку в салони, наприклад, вінницького транспорту загального користування заходить понад 170 млн. пасажирів. 70% з них перевозить пасажирський електротранспорт.

Питання, пов'язане зі зниженням енерговитрат шляхом створення високотехнологічних зразків транспортних засобів та забезпечення енергоефективних режимів їх роботи, є актуальним для міського електричного транспорту в цілому, де енергетична складова в даний час досягає 30 ... 50 % від загальних витрат комунальних підприємств.

Одним із основних напрямків зниження електроспоживання міського електричного транспорту є повернення електричної енергії в мережу або передача її в накопичувач енергії (НЕ) при електричному гальмуванні [2]. При такому гальмуванні трамвай (тролейбус) може віддавати в мережу до 40% спожитої ним енергії з одночасним істотним зниженням зносу механічних гальмівних пристроїв.

Мета роботи полягає у формуванні критеріїв порівняльної оцінки накопичувальних пристроїв та проведення на їх основі детального аналізу накопичувачів енергії з виявленням найбільш перспективних з позицій запропонованих критеріїв, а також виявлення переваг та недоліків їх використання в електротранспортному комплексі з метою підвищення ефективності використання енергії електричних гальмувань електротехнічного комплексу «система електропостачання – електротранспорт міста» із врахуванням особливостей чергування режимів його роботи.

## Результати дослідження

Накопичена електрорухомим транспортом (ЕРТ) механічна енергія перетворюється в електричну, передається через тягову мережу іншим споживачам, в першу чергу ЕРТ, працюючому в тяговому режимі (активному ЕРТ). Таким чином, при рекуперації ЕРТ працює паралельно з джерелами

живлення. Дана особливість визначає умови роботи ЕРТ при рекуперативному гальмуванні і створює абсолютно особливі умови для роботи системи електропостачання [3].

Під час здійснення рекуперативного гальмування на ділянках контактної мережі (КМ) з'являється рухоме джерело енергії, яке розвантажує підстанції і підвищує напругу тягової мережі, тим самим покращуючи умови роботи ЕРТ, що знаходиться в тяговому режимі. Найбільш економічним при рекуперації є такий режим, при якому вся вироблена ЕРТ енергія передається розташованому неподалік ЕРТ, який знаходиться в режимі тяги, проте це не завжди можливо [3, 4].

В якості споживачів можуть служити інші ЕРТ, що знаходяться в режимі тяги, або відповідним чином обладнані тягові підстанції (ТП), ділянки контактної мережі.

Поряд з рекуперативним можливе застосування і регенеративного гальмування, коли вироблена тяговим електричним двигуном енергія перерозподіляється на самому ЕРТ [4, 5]. В порівнянні з режимом рекуперативного гальмування, до режиму регенеративного гальмування вимога по допустимому рівню напруги в контактній мережі не пред'являється. Це обумовлено можливістю створення накопичувального пристрою, що дозволяє акумулювати енергію, вироблену ТЕД, відключеним від контактної мережі [6].

На сучасному етапі розвитку накопичувачі енергії знаходять все більш широке застосування в електроенергетичних системах, автономних ТЗ, транспортних системах в цілому. На думку експертів, застосування накопичувачів на ЕРТ залишиться перспективним напрямком розвитку в ХХІ столітті. Використання накопичувачів на електричному транспорті є ефективним заходом щодо зниження енерговитрат на рух ЕРТ, оскільки накопичувати енергію при електричному гальмуванні можна практично завжди з подальшим її використанням.

В даний час відомі різні типи накопичувачів енергії: гідроакумулюючі (ГА), повітряакумулюючі (ПА), електрохімічні (ЕХ), електромеханічні (ЕМ), механічні, інерційні, ємнісні, надпровідні, індуктивні і т.д. Для наочності подання варіантів використання кінетичної і потенційної механічної енергії ЕРТ запропонована класифікаційна структурна схема, представлена на рисунку 1.

На рисунку 1 приведено такі позначення: РО – рухома одиниця; НЕ – накопичувач енергії; ГНЕ – гібридний накопичувач енергії; МНЕ – механічний НЕ; СМНЕ – статичний МНЕ; ДМНЕ – динамічний МНЕ; ІН – інерційний накопичувач; ЕМНЕ – електромеханічний накопичувач енергії; ІМНЕ – інерційно-механічний НЕ; ТЕП – тепловий механічний перетворювач; ТНЕ – тепловий НЕ; ТМП – тепловий механічний перетворювач; Ін – інвертор; ПЕС – первинна енергосистема; ІндН – індуктивний накопичувач; ППН – понад провідниковий накопичувач; ЕХН – електрохімічний накопичувач; АБ – акумуляторна батарея; ЄН – ємнісний накопичувач; КПЕП – конденсатор подвійного електричного прошарку (іоністори); ГЕХН – гібридний електрохімічний накопичувач; ГАН – гідроакумулюючі накопичувачі; ПАН – повітряакумулюючі накопичувачі.

Кожен тип накопичувачів енергії має свої енергетичні показники, режими роботи, особливості конструктивного та схематичного виконання, що визначають області їх застосування [7].

Впровадження накопичувальних пристроїв на ЕРТ вимагає детального аналізу всіх основних видів накопичувачів із визначенням типу НЕ, які в найбільшій мірі задовольняють безлічі вимог, обумовлених експлуатаційними показниками і параметрами транспортних засобів. Для порівняння накопичувачів енергії з позицій використання їх на електричному транспорті сформулюємо основні критерії, яким вони повинні задовольняти [7]:

- питома енергоємність, вимірювана в Вт-год/кг або Дж/кг, яка визначає масогабаритні показники накопичувального пристрою;

- питома вартість накопичувального пристрою, яка обумовлює капіталовкладення;

- довговічність, вимірювана загальним числом циклів «заряд - розряд» або терміном служби;

- працездатність в широкому діапазоні температур;

- простота і доступність технічного обслуговування;

- час заряду накопичувача ( вибір проводиться виходячи з часу гальмування ЕРТ);

- час і величина втрат при зберіганні енергії;

- час реверсу потужності – час, протягом якого НЕ може бути переведений з режиму видачі в режим накопичення, і навпаки;

- швидкість і глибина розряду (глибина розряду дозволяє знизити величину масогабаритних показників і величину «мертвого об'єму»);

- безпечність роботи;

- високий ККД накопичувального пристрою.

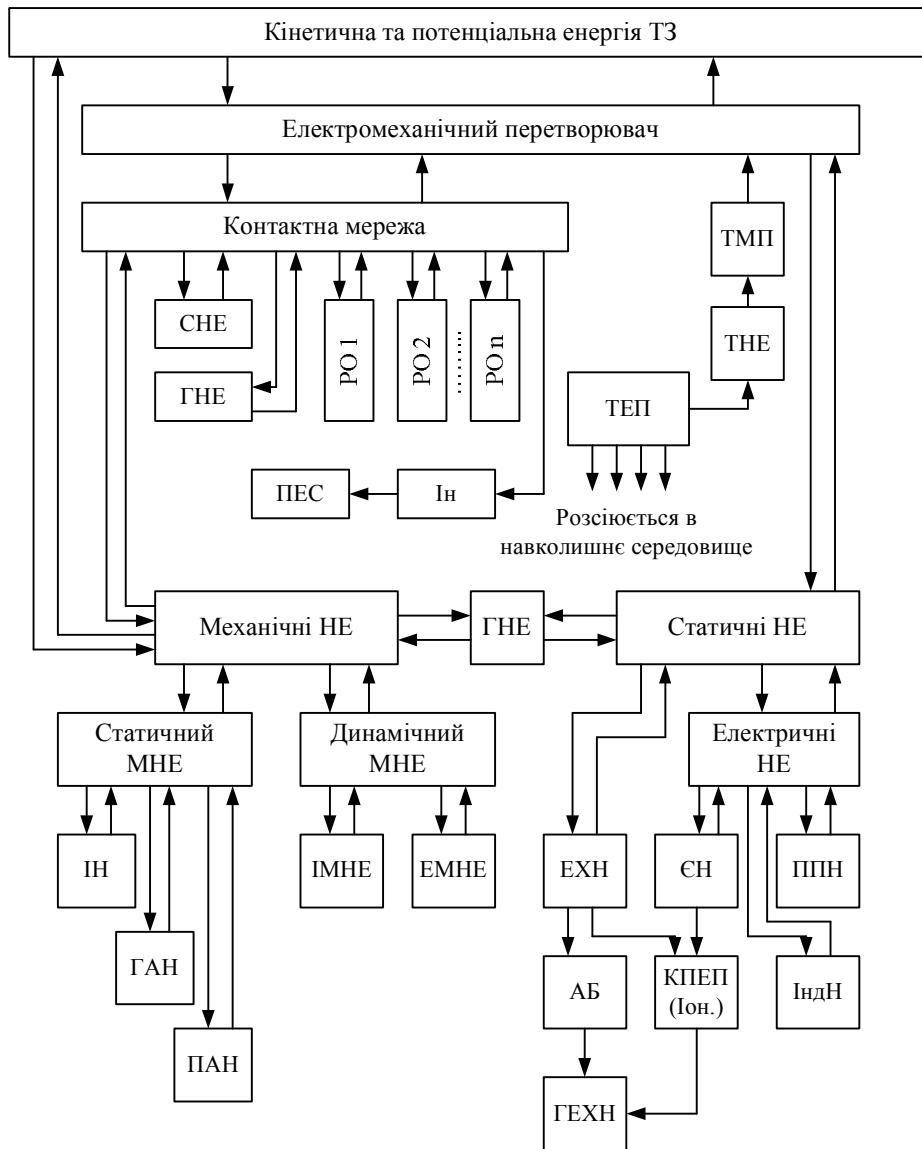


Рис. 1. Структурна схема перетворення кінетичної і потенційної механічної енергії ЕРТ при гальмуванні

Основне завдання вибору при проектуванні приймача енергії для впровадження в систему тягового електропостачання та місця його розміщення (трансформаторна підстанція, міжфідерна зона, ділянка контактної мережі, ЕРТ) пов'язана із встановленням імовірності збігів актів тяги та гальмування. Із впровадженням чітко налагодженої системи рекуперативного гальмування на міському електричному транспорті відбуватиметься зменшення споживання електричної енергії із системи первинного електропостачання, підвищення надійності системи тягового електропостачання та часу роботи обладнання за рахунок зниження ефективного струму лінії, зниження навантаження в тяговій мережі в моменти пуску транспортних засобів, значне підвищення пропускної здатності ліній, підвищення маневреності міського транспорту, зниження собівартості транспортної роботи і, як наслідок, підвищення конкурентоздатності тролейбусів (трамваїв).

### Висновки

Запропоновано структурну схему перетворень кінетичної і потенційної енергій транспортного засобу в електричну при гальмуванні, показані способи її перерозподілу та акумулювання за допомогою різного роду накопичувальних пристроїв. Сформовані критерії порівняльної оцінки накопичувальних пристроїв, на основі яких виконаний детальний аналіз накопичувачів енергії, виявлено переваги та недоліки їх використання в електротранспортному комплексі. Проведено

детальний аналіз накопичувачів енергії з виявленням найбільш перспективних з позицій запропонованих критеріїв, а також з'ясування переваг та недоліків їх використання в електротранспортному комплексі з метою підвищення ефективності використання енергії електричних гальмувань міського електричного транспорту.

#### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Байрыева Л.С. Электрическая тяга. Городской наземный транспорт / Л.С. Байрыева, В.В. Шевченко. — М. : Транспорт, 1986. — 206 с.
2. Сопов В.И. Эффективность использования энергии рекуперации при торможении подвижного состава / В.И. Сопов, Н.И. Щуров; Совершенствование технических средств электрического транспорта: Сб. научн. тр. НГТУ — Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2001. — Вып. 2-е. 126 - 136.
3. Ито Ж. Система тягового электроснабжения постоянного тока для участков обращения электропоездов с рекуперативным торможением / Ж. Ито, Т. Ито. — Железные дороги мира 1997, №4. — с.43 - 47.
4. Щуров Н.И. Повышение эффективности использования электрической энергии в подсистеме электрического транспорта / Н.И. Щуров, В.И. Сопов, А.А. Штанг, Ю.А. Прокушев; Совершенствование технических средств электрического транспорта: Сб. научн. тр. — Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2002. — с. 6 - 20.
5. Сопов В.И. Эффективность использования энергии рекуперации при торможении подвижного состава / В.И. Сопов, Н.И. Щуров; Совершенствование технических средств электрического транспорта: Сб. научн. тр. НГТУ — Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2001. — Вып. 2-е. 126 - 136.
6. Марквардт К.Г. Работа системы электроснабжения при рекуперации энергии. — Техника железных дорог 1955, №4. — с. 19-20.
7. Штанг А.А. О применении накопителей энергии на городском электрическом транспорте / А.А. Штанг, Е.А. Спиридонов, В.И. Сопов; Современные проблемы технических наук: Интеллектуальный потенциал Сибири: Сб. тез. докладов Новосибирской межвузовской науч. студенческой конф. — Новосибирск: Изд-во НГАСУ, 2004. — с. 53 - 54.

**Олександр Анатолійович Паянок** — к.т.н., доцент кафедри електромеханічних систем автоматизації в промисловості і на транспорті, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: oapayanok@gmail.com.

**Payanok Oleksandr A** — Cand. Sc. (Eng), Associate Professor of electromechanical systems of automation in industry and transport, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: oapayanok@gmail.com.