

УДК 629.423.1

А. О. Сулим, к.т.н.

(старший науковий співробітник ДП «Український науково-дослідний інститут вагонобудування» (ДП «УкрНДІВ»), м. Кременчук)

А. В. Донченко, к.т.н., с.н.с.

(директор ДП «УкрНДІВ»), м. Кременчук)

О. В. Фомін, д.т.н, доцент

(професор кафедри «Вагони та вагонне господарство» Державного економіко-технологічного університету транспорту, м. Київ)

П. О. Хозя, к.т.н.

(завідувач лабораторії ДП «УкрНДІВ»), м. Кременчук)

ПЕРСПЕКТИВИ ЗАСТОСУВАННЯ НАКОПИЧУВАЧІВ ЕНЕРГІЇ НА ТЯГОВОМУ ЗАЛІЗНИЧНОМУ ТРАНСПОРТІ

Виконано огляд та аналіз досліджень з підвищення енергоефективності тягового залізничного транспорту шляхом використання накопичувачів енергії. Окреслено основні напрями розвитку тягового залізничного транспорту з накопичувачами енергії. За результатами узагальненого аналізу значної кількості досліджень виконано оцінку можливої кількості заощаджень ресурсів за рахунок впровадження накопичувачів енергії на різних типах тягового залізничного транспорту. Встановлено, що найбільший ефект від застосування накопичувачів енергії можна досягти на міському електротранспорті, насамперед у метрополітені. Основною перевагою застосування накопичувачів енергії в метрополітені є особливості експлуатації його рухомого складу. Сформульовано комплекс задач, які можливо вирішити в метрополітені за рахунок впровадження накопичувачів енергії. Окреслено основні маловивчені та актуальні задачі при вирішенні проблеми підвищення енергоефективності в метрополітені шляхом застосування накопичувачів енергії, зокрема при створенні та модернізації рухомого складу метрополітену.

Ключові слова: тяговий залізничний транспорт, накопичувач енергії, рухомий склад метрополітену, енергоефективність.

Выполнен обзор и анализ исследований по повышению энергоэффективности тягового железнодорожного транспорта путем использования накопителей энергии. Рассмотрены основные направления развития тягового железнодорожного транспорта с накопителями энергии. По результатам обобщенного анализа значительного количества исследований выполнена оценка возможного количества сбережения ресурсов за счет внедрения накопителей энергии на различных типах тягового железнодорожного транспорта. Установлено, что наибольший эффект от использования накопителей может быть получен на городском электротранспорте, в первую очередь метрополитене. Основным преимуществом использования накопителей энергии в метрополитене является особенность эксплуата-

© Сулим А. О., Донченко А. В., Фомін О. В., Хозя П. О., 2017

ции его подвижного состава. Сформулирован комплекс задач, которые возможно решить в метрополитене за счет внедрения накопителей энергии. Очерчены основные малоизученные и актуальные задачи при решении проблемы повышения энергоэффективности в метрополитене путем использования накопителей энергии, в частности при создании и модернизации подвижного состава метрополитена.

Ключевые слова: тяговый железнодорожный транспорт, накопитель энергии, подвижной состав метрополитена, энергоэффективность.

Постановка проблеми. Підвищення енергетичної ефективності перевізного процесу на тяговому залізничному транспорті є однією з важливих проблем, яка потребує своєчасного вирішення [1–5]. Одним з основних напрямів вирішення зазначеної проблеми є більш ефективно використання ресурсів за рахунок впровадження накопичувачів енергії [6, 7]. При цьому важливим та актуальним є вивчення сучасного стану і перспективи розвитку тягового залізничного транспорту з накопичувачами енергії.

Мета статті – аналіз сучасних тенденцій розвитку різного типу тягового залізничного транспорту з застосуванням накопичувачів енергії.

Виклад основного матеріалу досліджень. Основні тенденції розвитку тягового залізничного транспорту з накопичувачами енергії проаналізовано шляхом огляду значної кількості досліджень [8–122]. За результатами їх аналізу встановлено, що в розробку наукових основ створення тягового залізничного транспорту з накопичувачами енергії, значний вклад внесли колективи наукових та навчальних закладів країн СНД: Білоруського державного університету транспорту, Всеросійського науково-дослідного інституту залізничного транспорту, Державного економіко-технологічного університету транспорту, ДП «Державного науково-дослідного центру залізничного транспорту України» (нині – філія «Науково-дослідного та конструкторсько-технологічного інституту залізничного транспорту ПАТ «Укрзалізниця»), Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка Лазаряна, Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського, Московського державного університету шляхів сполучення, Московського енергетичного інституту, Науково-дослідного інституту енергозбереження на залізничному транспорті (м. Омськ), Національного гірничого університету (м. Дніпро), Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут», Новосибірського державного технічного університету, Омського державного університету шляхів сполучення, Петербурзького державного університету шляхів сполучення, Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля, Українського державного університету залізничного транспорту (м. Харків), Харківського національного університету міського господарства імені О. М. Бекетова та підприємств: ТОВ «КМ Labs» (м. Київ), фірми YUNASKO (м. Дніпро), ВАТ «Електропривод» (м. Москва), ДП «Електротяжмаш» (м. Харків), ЗАТ «Елтон», ЗАТ «ЕСМА», ПАТ «Укрзалізниця».

В розробку наукових основ модернізації існуючого та створення нового автономного тягового залізничного транспорту з накопичувачами енергії, в тому числі систем для пуску двигунів, внесли вклад відомі вчені: Азаренко В.О., Косов Є.Є., Корнев О.М., Лосев Є.П., Нікіпелій С.О., Носков В.М., Пасько О.В., Устенко О.В., Черняк Ю.В., Шаряков В.А. та інші [8–19].

Слід окремо виділити праці останнього періоду: Володарця М.В., Гончарова О.М., Панасенка М.В., Пелепейченка В.І., Сергієнка М.І., Фалендиша А.П., направлені на аналіз шляхів модернізації та створення гібридного залізничного транспорту (маневрових локомотивів ЧМЕЗ, дизель-поїздів ДЕЛ-02), вибір раціональних параметрів

його енергетичної силової установки та оцінки ефективності застосування на ньому накопичувачів енергії [20–29].

Окремої уваги заслуговують дослідження Варакіна А.І., Варакіна І.М., Менухова В.В., Самітіна В.В., направлені на проектування та виготовлення накопичувачів енергії для різного типу транспорту, в першу чергу автомобільного та залізничного. Їхні дослідження представлені у вигляді статей, патентів і численних проектів на міжнародних виставках [30–34].

В розробку наукових основ модернізації та створення енергоефективного неавтономного тягового залізничного транспорту з накопичувачами енергії внесли вклад відомі вчені: Бичкова М.П., Бялобржеський О.В., Васильєв В.О., Деншиков К.К., Колб А.А., Охотніков М.С., Пупинін В.М., Родькін Д.Й., Хворост М.В., Щербак Я.В. [35–55].

Представники Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут» у своїх роботах приділяли увагу питанням оцінки енергоефективності та дослідження енергообмінних процесів у системах тягового енергозабезпечення електрифікованого залізничного транспорту з накопичувачами енергії. Професор Омеляненко В.І. та його послідовники (Любарський Б.Г., Овер'янова Л.В., Омеляненко Г.В., Рябов Є.С., Якунін Д.І.) присвятили значну кількість досліджень за напрямом використання накопичувачів енергії в системі енергозабезпечення електрорухомого складу, зокрема приміських електропоїздів та поїздів метрополітену [56–66]. Праці зазначених дослідників останнього періоду направлені на створення приміського електропоїзда з бортовим електромеханічним накопичувачем енергії. В даних дослідженнях запропоновано технічне рішення ефективного управління енергообмінними процесами під час роботи тягового електропривода електропоїзда з бортовим накопичувачем енергії шляхом використання реверсивного перетворювача [60–66]. Професор Жемеров Г.Г. в своїх роботах розглядав питання зменшення втрат енергії в системах електропостачання рухомого складу метрополітену при використанні накопичувачів, зокрема при її транспортуванні. Праці Жемерова Г.Г. останнього часу направлені на оцінку енергоефективності можливих систем енергопостачання рухомого складу метрополітену при застосуванні накопичувачів енергії [67–70].

Представники Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка Лазаряна (професори Костін О.М., Артемчук В.В., Кузнецов В.Г., доцент Саблін О.І.) у своїх дослідженнях приділяли значну увагу питанням щодо оцінки потенціалу заощаджень ресурсів, підвищення якості електроенергії в контактній мережі за рахунок впровадження накопичувачів енергії на різного типу неавтономного залізничного транспорту, а також визначенню параметрів накопичувача [71–76].

Значну кількість робіт підготовлено за участю професора Шевлюгіна М.В., який приділяв увагу проблемі підвищення енергоефективності неавтономного залізничного транспорту, насамперед метрополітену, за рахунок впровадження різного типу накопичувачів енергії (інерційних, електрохімічних, зверхпровідникових індуктивних, ємнісних накопичувачів) [77–83].

Представники наукової школи професора Черемісіна В.Т. у своїх теоретичних дослідженнях [84–88], як правило, приділяють увагу проблемі підвищення ефективності неавтономного залізничного транспорту, насамперед магістральних електровозів, шляхом розміщення перспективних типів накопичувачів (ємнісних, зверх провідникових індуктивних, електромеханічних) в різних місцях системи тягового енергозабезпечення (на тягових підстанціях, на рухомому складі, на кінцях консольних ділянок).

Розробки вчених Штанга А.А., Щурова М.І., Улітіна В.Г. присвячені вирішенню питань щодо оцінки заощаджень енергетичних ресурсів на міському залізничному транспорті за рахунок впровадження різного типу накопичувачів енергії та розробки ефективних технічних рішень по управлінню процесами їх заряду та розряду [89–92].

Удосконаленню та створенню енергоефективних рудникових електровозів, в частині застосування на них комбінованих накопичувачів енергії та визначення їх необхідних параметрів, присвячені роботи таких вчених як Білозеров В.І., Сорін Л.Н., Степаненко В.П. [93–97].

Відомі також роботи дослідників Європи, Китаю, США, Японії (Li X., Allègre A.-L., Rufer A., Barrero R., Sevilla M., Moninger F., Negishi H., Iannuzzi D., Tricoli P., Shimada M. et al.) в галузі підвищення ефективності використання залізничного транспорту шляхом використання накопичувачів енергії [98–122]. У своїх дослідженнях іноземні вчені значну увагу приділяють питанню вибору раціонального типу накопичувача. Значна кількість цих досліджень [99–102, 107, 117–119] присвячена питанню оцінки заощаджень ресурсів за рахунок різних місць розміщення накопичувачів енергії в системі тягового енергозабезпечення неавтономного залізничного транспорту.

Огляд наукової літератури свідчить, що накопичувачі енергії можуть застосовуватись при створенні гібридного автономного та енергоефективного неавтономного залізничного транспорту. При експлуатації автономного залізничного транспорту з накопичувачами енергії економічний ефект в основному досягається шляхом зниження витрат палива за рахунок підвищення ефективності роботи енергетичної силової установки та покращення екологічних показників роботи силових установок за рахунок зменшення шкідливих викидів у навколишнє середовище (сажі, вуглецю тощо). При експлуатації неавтономного залізничного транспорту з накопичувачами енергії економічний ефект досягається шляхом підвищення енергоефективності та покращення енергозбереження за рахунок ефективного використання електроенергії рекуперативного гальмування, зменшення встановленої потужності тягових підстанцій, стабілізації напруги контактної мережі, а також можливості забезпечення автономного ведення рухомого складу. Крім того, накопичувачі енергії застосовуються при створенні систем для запуску двигунів внутрішнього згорання автономного залізничного транспорту. Економічний ефект при впровадженні зазначених систем досягається за рахунок зниження потужності та збільшення терміну служби акумуляторних батарей, можливості стабільного запуску двигуна при низьких температурах навколишнього середовища, зменшення витрат на обслуговування. Таким чином, встановлено три основні напрямки досліджень тягового залізничного транспорту з накопичувачами енергії.

Одним з важливих питань, що розглядається і аналізується в зазначених роботах, є оцінка потенціалу заощаджень ресурсів при використанні накопичувачів енергії. Актуальність розгляду даного питання обумовлена необхідністю визначення доцільності застосування накопичувачів енергії. Результати узагальненого аналізу досліджень [8–122] щодо питання потенціалу економії та поліпшення використання ресурсів при впровадженні накопичувачів енергії на різному типі тягового залізничного транспорту, зображено на рис. 1–2.

Таким чином, за результатами аналізу оцінки потенціалу економії ресурсів на різного типу тягового залізничного транспорту встановлено таке:

– значні перспективи впровадження накопичувачів має тяговий залізничний транспорт із різкозмінним навантаженням, зокрема електровози, приміські електропоїзди та дизель-поїзди, маневрові тепловози, кар’єрні рудникові електровози, трамваї, поїзди метрополітену;

Маневрові тепловози	Дизель-поїзди	
		
● Зниження витрат палива до 50 % ● Зниження викидів шкідливих речовин у 3-10 разів ● Зменшення потужності силової дизельної установки до 40 %	● Зниження витрат палива до 25 % ● Зниження викидів шкідливих речовин у 2-10 разів ● Зменшення потужності силової дизельної установки до 35 %	● Зниження витрат палива до 25 % ● Зниження викидів шкідливих речовин у декілька раз ● Зменшення рівня шуму під час експлуатації

Рис. 1. Оцінка потенціалу заощаджень ресурсів на автономному тяговому залізничному транспорті (на прикладі маневрового тепловоза ЧМЕЗ, дизель-поїзда ДЕЛ-02, дизель-поїзда VT642)

Електровози	Приміські електропоїзди	Рудникові електровози
		
● Скорочення витрат електроенергії на тягу до 12,9 % ● Підвищення тягових властивостей до 13 % ● Скорочення витрат електроенергії в тяговій мережі до 12,3 %	● Скорочення витрат електроенергії на тягу до 30 % ● Зменшення встановленої потужності тягових підстанцій до 12 %	● Скорочення витрат електроенергії на тягу до 30 % ● Зниження викидів шкідливих речовин не менше ніж в 3 рази (для дизельно-контактних електровозів)
Електропоїзди метрополітену	Трамваї	
		
● Скорочення витрат електроенергії на тягу до 50 % ● Зменшення встановленої потужності тягових підстанцій до 20 %	● Скорочення витрат електроенергії на тягу до 30 % ● Зменшення встановленої потужності тягових підстанцій до 15 %	

Рис. 2. Оцінка потенціалу заощаджень ресурсів на неавтономному тяговому залізничному транспорті

– значно менші перспективи впровадження накопичувачів має тяговий залізничний транспорт далекого сполучення, який експлуатується в умовах руху з високими швидкостями та наявністю малої кількості зупинок на своєму шляху (пасажирські швидкісні локомотиви та електропоїзди далекого сполучення);

– найбільші перспективи впровадження накопичувачів енергії серед автономного транспорту мають маневрові тепловози завдяки умовам експлуатації: часті пуски та гальмування, необхідність частого розгону та сповільнення, мала швидкість руху, значну частину часу займає робота на холостому ході.

– одним з найбільш перспективних видів транспорту для впровадження накопичувачів енергії є метрополітен в силу особливостей експлуатації його рухомого складу: стабільний графік руху у порівнянні з іншими видами залізничного транспорту; чітко виражений імпульсний характер навантаження; незначні відстані між перегонами, як наслідок, часті пуски та гальмування; часто змінюваний профіль колії; необхідність частого розгону та сповільнення внаслідок зміни обмежень швидкості для різних ділянок колії. Як наслідок, за рахунок зазначених умов експлуатації можливе значне зниження витрат на тягу (до 50 %) у порівнянні з іншим типом тягового неавтономного транспорту. Ще одним важливим фактором є стабільність виконання графіку руху, тобто існує можливість більш точного прогнозування техніко-економічного ефекту у порівнянні з іншим перспективним транспортом (наприклад, маневровим тепловозом).

За результатами аналізу досліджень [8–122] встановлено, що впровадження накопичувачів енергії в метрополітені дозволить вирішити комплекс задач, а саме:

- зменшити споживання електроенергії з мережі і знизити встановлену потужність силових установок, що здійснюють подачу та перетворення електроенергії (трансформаторів, перетворювачів, розподільчих підстанцій тощо) за рахунок збереження та повторного використання енергії рекуперативного гальмування;
- спрямити хвилинні та годинні графіки споживання електроенергії внаслідок чого забезпечується статична і динамічна стійкість енергосистеми;
- підвищити і стабілізувати рівень напруги в контактній мережі та струмоприймачах вагонів метрополітену внаслідок чого збільшується пропускна здатність перегону;
- зменшити струмові навантаження та відповідно температури нагріву силових агрегатів, що дозволить підвищити їх термін служби;
- підвищити якість електроенергії;
- підвищити безпеку процесу перевезення пасажирів під час виникнення аварійних режимів роботи в основних джерелах живлення;
- знизити теплові викиди в тунель, і відповідно, знизити витрати на вентиляцію і кондиціювання повітря, поліпшити клімат на станціях, в тунелях та вагонах метрополітену.

Аналіз зазначених досліджень дозволив визначити наступні маловивчені та актуальні питання при використанні накопичувачів енергії в метрополітені:

- вибір раціонального місця розміщення накопичувачів енергії в системі тягового енергозабезпечення метрополітену;
- аналіз технічних рішень щодо ефективного управління процесами заряду та розряду накопичувачів енергії;
- обґрунтування застосування раціонального типу накопичувача в системі тягового енергозабезпечення метрополітену;
- визначення параметрів накопичувачів енергії з урахуванням реальних умов експлуатації рухомого складу метрополітену;
- розробка комплексного підходу щодо визначення раціональних параметрів накопичувачів (насамперед, потужності та енергоємності) для рухомого складу метрополітену при його заданих умовах експлуатації;
- оцінка підвищення енергоефективності на рухомому складі метрополітену за рахунок впровадження накопичувача з раціональними параметрами;
- теоретичні та експериментальні дослідження енергопроцесів в системі тягового енергозабезпечення метрополітену при впровадженні накопичувачів енергії з раціональними параметрами;

- вплив накопичувачів енергії на якість електроенергії в контактній мережі та надійність роботи пристроїв і систем (наприклад, пристроїв сигналізації та зв'язку);
- удосконалення конструкції накопичувачів енергії в частині збільшення питомої кількості збереження електроенергії;
- вплив накопичувачів енергії на динамічні якості рухомого складу метрополітену;
- пошук нових режимів функціонування системи тягового енергозабезпечення метрополітену з накопичувачами енергії, при яких забезпечується мінімізація спожитої електроенергії з мережі та підвищення ефективності використання електроенергії рекуперації;
- створення концептуального проекту рухомого складу метрополітену з впровадженням раціональних типів накопичувачів енергії з оптимальними параметрами.

Висновки. Узагальнений аналіз існуючих досліджень щодо перспективи розвитку тягового залізничного транспорту з накопичувачами енергії дозволив отримати наступні висновки:

1. Дослідження із застосування накопичувачів на тяговому залізничному транспорті в основному здійснюється за трьома напрямками: створення систем для запуску двигунів внутрішнього згорання автономного залізничного транспорту, створення гібридного автономного транспорту та ефективного використання електроенергії рекуперативного гальмування неавтономного електротранспорту. Впровадження вищезазначених систем дозволить знизити потужність та збільшити термін служби акумуляторних батарей, зменшити витрати на їх обслуговування, а також забезпечити стабільний запуск двигуна при низьких температурах навколишнього середовища. Використання накопичувачів енергії на гібридному залізничному дозволить знизити витрати пального, шкідливі викиди та рівень шуму, а також підвищити його тягові можливості. Впровадження накопичувачів енергії на залізничному електротранспорті дозволить зменшити витрати електроенергії на тягу, знизити встановлену потужність тягових підстанцій, стабілізувати напругу контактної мережі.

2. Значні перспективи впровадження накопичувачів має тяговий залізничний транспорт з різкозмінним навантаженням, зокрема електровози, приміські електропоїзди та дизель-поїзди, маневрові тепловози, кар'єрні рудникові електровози, трамваї, поїзди метрополітену. Визначено резерви заощаджень палива та електроенергії при впровадженні накопичувачів енергії на перелічених типах тягового залізничного транспорту. Серед автономного транспорту найбільші перспективи впровадження накопичувачів мають маневрові тепловози (скорочення витрат палива до 50 %), серед неавтономного – метрополітени (скорочення витрат електроенергії на тягу до 50 %).

3. Одним з найбільш перспективних видів транспорту для впровадження накопичувачів енергії є метрополітен в силу особливостей умов експлуатації його рухомого складу: стабільний графік руху у порівнянні з іншими видами залізничного транспорту; чітко виражений імпульсний характер навантаження; незначні відстані між перегонами, як наслідок, часті пуски та гальмування; часто змінюваний профіль колії; необхідність частого розгону та сповільнення внаслідок зміни обмежень швидкості для різних ділянок колії. Вищевказане свідчить, що при впровадженні накопичувачів енергії в метрополітені можна досягти значний техніко-економічний ефект, який можливо оцінити точніше від інших видів залізничного транспорту на етапі теоретичних досліджень за рахунок стабільних умов експлуатації рухомого складу метрополітену.

4. Визначено комплекс основних задач, які можливо вирішити шляхом впровадження накопичувачів енергії в метрополітені. Одними з головних є зменшення споживання електроенергії з мережі і зниження встановленої потужності силових установок, що здійснюють подачу та перетворення електроенергії.

5. Окреслено маловивчені та актуальні питання при застосуванні накопичувачів енергії в метрополітені, вирішення яких дозволить підвищити енергоефективність та отримати максимальний техніко-економічний ефект на даному виді транспорту.

ЛІТЕРАТУРА

1. Комплексна програма оновлення залізничного рухомого складу України на 2008-2020 р.р., затверджена Наказом Міністерства транспорту і зв'язку України № 1259 від 14.10.2008 р. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://uz.gov.ua>.
2. Державна програма розвитку міського електротранспорту на 2007-2015 роки, затверджена Постановою Кабінету Міністрів України № 1855 від 29.12.2006 р. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://www.uazakon.com/documents/date_80/pg_grgfl/index.htm.
3. Про енергозбереження : [Закон України : офіц. текст: прийнятий Постановою Верховної Ради України № 75/94-ВР від 01.07.2014 р. зі змінами і доповненнями, внесеними Законами України]. – К.: Парламентське вид-во, 2014. – 15 с.
4. Про пріоритетні напрямки інноваційної діяльності в Україні: [Закон України: офіц. текст: прийнятий Постановою Верховної Ради України № 3715-VI від 08.09.2011 р. зі змінами і доповненнями, внесеними Законом України № 5460-VI від 16.10.2012 р.]. – К.: Відомості Верховної Ради України, 2012. – Вип. № 19-20. – стаття 166. – С. 799.
5. Про пріоритетні напрямки розвитку науки і техніки : [Закон України: офіц. текст: прийнятий Постановою Верховної Ради України № 2519-VI від 09.09.2010 р. зі змінами і доповненнями, внесеними Законами України]. – К.: Офіційний вісник України, 2010. – Вип. № 77. – стаття 2721. – С. 29.
6. Накопители энергии : учеб. пособие для вузов / Д.А. Бут, Б.Л. Алиевский, С.Р. Мизюрин, П.В. Васюкевич: под ред. Д.А. Бута. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 400 с.
7. Астахов, Ю.Н. Накопители энергии в электрических системах: Учеб. пособие для электроэнерг. спец. вузов / Ю.Н. Астахов, В.А. Веников, А.Г. Тер-Газарян. – М.: Высш. школа, 1989. – 159 с.
8. Пат. 2419563 Российская Федерация, МПК В60W 10/04, В60L 11/02. Способ управления силовой установкой и устройство для его реализации / Коссов Е.Е., Никипелый С.О.; патентообладатель: Московский государственный университет путей сообщения (МИИТ). – № 2009144792/11; заявка 03.12.2009; опубл. 27.05.2011, Бюл. № 15. – 8 с.
9. Никипелый, С.О. Повышение эффективности работы тепловозов при применении накопителя энергии в силовой цепи: дис. канд. техн. наук: 05.22.07 / Никипелый Сергей Олегович; Моск. гос. ун-т путей сообщения. – М., 2011. – 167 с. – Библиогр.: с. 143–154.
10. Коссов, Е.Е. Применение накопителей малой энергоёмкости в силовой цепи тепловоза / Е.Е. Коссов, С.О. Никипелый // Вісник Східноукраїнського національного університету імені В. Даля. – Луганськ, 2010. – № 5 (147). – Частина 1. – С. 246–248.
11. Коссов, Е.Е. Влияние эффективности накопителя энергии на топливную экономичность локомотива / Е.Е. Коссов, В.А. Азаренко, А.Н. Корнев, М.М. Комарицкий // Локомотив-информ. – 2008. – № 3. – С. 44–45.
12. Коссов, Е.Е. К вопросу выбора мощности характеристик перспективного автономного тягового подвижного состава / Е.Е. Коссов, В.А. Азаренко, М.М. Комарицкий // Наука и транспорт. – 2007. – спецвыпуск. – С. 20–21.
13. Шаряков, В.А. Исследование возможности повышения экономичности электрической передачи на маневровом тепловозе при использовании накопителей энергии / В.А. Шаряков, О.Л. Шарякова, О.К. Бакшаев, А.С. Мовчан // Локомотив-информ. – 2010. – № 11. – С. 8–9.
14. Лосев, Е.П. Эффективность применения накопителей энергии в силовых установках автономных локомотивов: дис. канд. техн. наук: 05.22.07 / Лосев Евгений Петрович; Моск. гос. ун-т путей сообщения. – М., 2000. – 211 с. – Библиогр.: с. 160–173.
15. Носков, В.Н. Сверхпроводниковые индуктивные накопители энергии в энергоустановках железнодорожного транспорта: дис. канд. техн. наук: 05.22.07 / Носков Владимир Николаевич; Рост. гос. ун-т путей сообщения. – Ростов-на-Дону, 2010. – 209 с. – Библиогр.: с. 156–164.
16. Носков, В.Н. Об энергоёмкости накопителя энергии для тепловоза / В.Н. Носков, М.Ю. Пустоватов // Вестник ВНИИЖТ. – М.: ВНИИЖТ, 2008. – № 5. – С. 42–44.
17. Устенко, А.В. Использование накопителей энергии для улучшения параметров локомотивов / А.В. Устенко, О.В. Пасько // Локомотив-информ. – 2012. – № 10. – С. 4–6.
18. Черняк, Ю.В. Аналіз існуючих і перспективних напрямів застосування рекуперативних систем на транспорті з метою підвищення його енергоефективності / Ю.В. Черняк, В.О. Гатченко, А.В. Гаюр // Збірник наукових праць ДЕТУТ: Серія «Транспортні системи і технології». – К.: ДЕТУТ, 2014. – Вип. 24. – С. 134–139.

19. Писарев, Л.Т. Рекуперативное торможение поездов с использованием импульсных энергоемких конденсаторов / Л.Т. Писарев, Ю.В. Черняк, М.Р. Терованесов // Збірник наукових праць ДонІЗТ. – Донецьк: ДонІЗТ, 2009. – Вип. 17. – С. 97–106.
20. Володарець, М.В. Визначення необхідної енергоемності накопичувачів енергії та потужності силової установки маневрового тепловозу із гібридною тягою / М.В. Володарець // Збірник наукових праць ДонІЗТ. – Донецьк: ДонІЗТ, 2011. – Вип. 26. – С. 1–3.
21. Фалендиш, А.П. Розробка моделі для вибору потужнісних характеристик маневрового тепловозу з гібридною передачею / А.П. Фалендиш, М.В. Володарець // Збірник наукових праць ДонІЗТ. – Донецьк: ДонІЗТ, 2010. – Вип. 24. – С. 122–130.
22. Бірюков, О.С. Модернізація маневрового тепловоза ЧМЭЗТ з метою зменшення витрати палива і значного зниження викидів шкідливих речовин / О.С. Бірюков, А.П. Фалендиш, М.В. Володарець, І.В. Золотухін // Збірник наукових праць УкрДАЗТ. – Х.: УкрДАЗТ, 2011. – Вип. 126. – С. 157–160.
23. Фалендиш А.П. Визначення раціональних параметрів гібридного маневрового тепловоза на базі ЧМЕЗ / А.П. Фалендиш, М.В. Володарець, О.В. Артеменко // Вісник Східноукраїнського національного університету імені В. Даля. – Северодонецьк, 2015. – № 1 (218). – С. 253–256.
24. Сергієнко, М.І. Оцінка ефективності застосування накопичувачів електроенергії в енергетичній установці дизель-поїзда ДЕЛ-02 / М.І. Сергієнко, М.В. Панасенко, В.І. Пелепейченко, Д.О. Гордієнко // Залізничний транспорт України. – 2011. – № 4. – С. 29–35.
25. Сергієнко, М.І. Оцінка ефективності варіантів модернізації енергетичної установки маневрового тепловоза ЧМЭЗ / М.І. Сергієнко, В.І. Пелепейченко, О.М. Гончаров, Д.О. Гордієнко // Залізничний транспорт України. – 2011. – № 6. – С. 35–38.
26. Сергієнко, М.І. Вибір характеристики керування гібридною енергетичною установкою перспективного маневрового тепловоза / М.І. Сергієнко, О.М. Гончаров, В.І. Пелепейченко, Д.О. Гордієнко // Вісник Східноукраїнського національного університету імені В. Даля. – Луганськ, 2011. – № 4 (158). – С. 122–132.
27. Сергієнко М.І. Прогнозування ресурсу дизелів перспективних енергетичних установок для маневрового тепловоза ЧМЭЗ / М.І. Сергієнко, О.М. Гончаров, В.І. Пелепейченко, С.Д. Мокроусов // Залізничний транспорт України. – 2012. – № 5. – С. 40–44.
28. Щербаков В.П. Зменшення викидів азоту дизелем маневрового тепловозу шляхом застосування гібридної енергетичної установки / В.П. Щербаков, М.І. Сергієнко, А.О. Каграманян, В.І. Пелепейченко // Вісник Східноукраїнського національного університету імені В. Даля. – Луганськ, 2012. – № 5 (176). – Частина 1. – С. 173–179.
29. Гончаров О.М. Аналіз передумов модернізації маневрових тепловозів Львівської залізниці гібридною енергетичною установкою / О.М. Гончаров, С.О. Кінтер, Ю.В. Терещак // Залізничний транспорт України. – 2014. – № 6. – С. 19–25.
30. Варакин А.И. Маневровый и универсальный локомотив с гибридной силовой установкой и накопителем энергии на базе электрохимических конденсаторов / А.И. Варакин, И.Н. Варакин, В.В. Менухов // Наука и техника транспорта. – 2007. – № 2. – С. 34–40.
31. Варакин, И.Н. Применение электрохимических конденсаторов ЗАО «ЭЛТОН» в составе гибридных энергосиловых установок на карьерном автотранспорте / И.Н. Варакин, В.В. Менухов, В.В. Самитин // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2008. – Отдельный выпуск 8: Горные машины. – С. 106–115.
32. Варакин, И.Н. «Элтон» предлагает – качество, надежность, экономичность / И.Н. Варакин, В.В. Менухов // Газета «Евразия вести». – Элтранс, 2009. – Вип. 10. – С. 22–23.
33. Пат. RU 2296383 С2 Российская Федерация, МПК H01G 9/155. Электрохимический конденсатор / Варакин И.Н., Кильганова Е.А., Менухов В.В., Разумов С.Н., Самитин В.В., Тарасов С.В.; патентообладатель: Разумов С.Н. – № 2004137643/09; заявка 23.12.2004; опубл. 27.03.2007, Бюл. № 9. – 9 с.
34. Varakin I.N., Kilganova Ye.A., Klementov A.P., Litvinenko S.V., Menukhov V.V., Samitin V.V., Starodubtsev N.F., Stepanov A.B. In Proceedings of “The 7-13th International Seminar on Double Layer Capacitors and Similar Energy Storage Devices”, 1997-2003, Deerfield Beach, Florida, USA.
35. Бычкова, М.П. Энергоэффективные технологии метро / М.П. Бычкова // Автоматизация и ИТ в энергетике. – 2011. – № 5(22). – С. 34–36.
36. Бычкова, М.П. Система накопителей электроэнергии для повышения энергоэффективности в метро / М.П. Бычкова // Энергосовет. – 2011. – № 3(16). – С. 74–76.
37. Бычкова, М.П. Энергосбережение в метро / М.П. Бычкова // Транспорт Российской Федерации. – 2010. – Специальный выпуск «Наука и транспорт. Метрополитены будущего». – С. 67.
38. Бялобржеський, О.В. Энергоэкономия в электротехнологических установках та пристроях з електричними накопичувачами енергії / О.В. Бялобржеський // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету. – Кременчук, 2009. – № 10/2009 (38). – С. 141–145.
39. Бялобржеський, О.В. Енергетичні показники режиму гальмування машини постійного струму з передачею енергії на конденсаторний накопичувач / О.В. Бялобржеський, І.В. Шипунова // Наукові праці

Донецького національного технічного університету. Серія: «Електротехніка і енергетика». – Донецьк: ДонНТУ, 2013. – № 1 (14). – С. 53–58.

40. Деклараційний патент UA 83779 U Україна, МПК B60L 13/00. Пристрій накопичення електричної енергії тягового електричного комплексу електровоза / О.В. Бялобжеський, І.В. Шипунова; патентовласник: Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського – № u2013 05046; заявка 19.04.2013; опубл. 25.09.2013, Бюл. № 18. – 4 с.

41. Васильев, В.А. Повышение энергетической эффективности электропоездов постоянного тока : автореф. дис. канд. техн. наук: 05.22.07 / Васильев Виталий Алексеевич; Петербургский гос. ун-т путей сообщения. – СПб, 2012. – 16 с.

42. Васильев, В.А. Анализ возможности применения емкостных накопителей энергии / В.А. Васильев // Известия ПГУПС. – СПб, 2011. – № 1. – С. 35–44.

43. Деньщиков, К.К. Комбинированные энергетические установки на основе суперконденсаторов / К.К. Деньщиков // Конференция ОИВТ РАН «Результаты фундаментальных исследований в области энергетики и их практическое значение» – М., 24-26 марта 2008.

44. Колб, А.А. Аккумуляция энергии рекуперации электрифицированного транспорта с помощью емкостных энергонакопителей / Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту ім. академіка В. Лазаряна. – Д., 2010. – Вип. 31. – С. 89–94.

45. Колб, А.А. Использование энергии рекуперации электротранспорта для управления качеством электроэнергии / А.А. Колб // Електромеханічні і енергозберігаючі системи. – 2010. – Вип. 4/2010 (63). – С. 98–102.

46. Охотников, Н.С. Повышение тяговых свойств электровозов при помощи накопителей энергии: автореф. дис. канд. техн. наук: 05.22.07 / Охотников Николай Станиславович; Научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта. – М., 2010. – 24 с.

47. Охотников, Н.С. Использование накопителей энергии для повышения тяговых свойств электровозов / Н.С. Охотников // Вестник ВНИИЖТ. – М, 2010. – № 5. – С. 33–36.

48. Пупынин, В.Н. Разработка энергосберегающих схем тягового электроснабжения железных дорог постоянного тока 3,3 кВ с использованием накопителей энергии / В.Н. Пупынин, М.В. Шевлюгин // Сборник научных трудов. Фундаментальные и поисковые научно-исследовательские работы в области железнодорожного транспорта. – М.: МГУПС (МИИТ), 1997. – Вып. 916. – С. 149–152.

49. Бродский, Ю.А. Стационарная система аккумуляции энергии рекуперации электроподвижного состава метрополитена на базе емкостных накопителей энергии / Ю.А. Бродский, А.И. Подаруев, В.Н. Пупынин, М.В. Шевлюгин // Электротехника. – 2008. – № 7. – С. 38–41.

50. Родькин, Д.И. Особенности осуществления электропривода с накопителями энергии / Д.И. Родькин, Т.В. Величко // Вісник КДПУ. Наукові праці Кременчуцького державного політехнічного університету. – Кременчук: КДПУ. – 2000. – Вип. 2/2000 (9). – С. 124–132.

51. Родькин, Д.И. К теории электропривода с емкостным накопителем / Д.И. Родькин, В.Н. Корнет // Вісник КДПУ. Наукові праці Кременчуцького державного політехнічного університету. – Кременчук: КДПУ. – 2000. – Вип. 2/2000 (9). – С. 149–151.

52. Хворост, Н.В. Концепция новой структуры системы электрической тяги для метрополитена / Н.В. Хворост // Коммунальное хозяйство городов. – 2003. – № 53. – С. 172–179.

53. Хворост, М.В. Система электротягового забезпечення підвищеної ефективності для метрополітенів / М.В. Хворост, В.В. Божко // Електротехніка і електромеханіка. – 2006. – № 6. – С. 79–86.

54. Хворост, М.В. Розвиток наукових основ систем електричної тяги метрополітенів: автореф. дис. д-ра техн. наук : 05.22.09 / Хворост Микола Васильович; Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. – Д., 2011. – 43 с.

55. Щербак, Я.В. Аналіз застосування рекуперативного гальмування на залізницях України / Я.В. Щербак, В.П. Нерубацький // Залізничний транспорт України. – 2011. – № 2. – С. 30–34.

56. Омеляненко, В.И. Инерционный накопитель энергии для систем тягового электроснабжения / В.И. Омеляненко, Г.В. Омеляненко // Техническая электродинамика. – 2002. – № 4. – С. 83–88.

57. Омеляненко, Г.В. Электромеханический преобразователь энергии инерционного накопителя для сетей тягового электроснабжения: дис. канд. техн. наук: 05.09.01 / Омеляненко Галина Викторовна; Харьковский гос. политехнический ун-т. – Х., 1999. – 169 с. – Библиогр.: с. 158–168.

58. Омеляненко, В.И. Накопители энергии – перспективная технология для железных дорог / В.И. Омеляненко, В.Е. Бондаренко, Г.В. Омеляненко, Л.В. Оверьянова // Локомотив-информ. – 2011. – № 4. – С. 4–9.

59. Якунін, Д.І. Електромеханічна система привода з лінійним двигуном для нахилу кузовів швидкісного рухомого складу: автореф. дис. канд. техн. наук: 05.22.09 / Якунін Дмитро Ігоревич; Національний техн. ун-т «Харківський політехнічний інститут». – Х., 2010. – 21 с.

60. Омеляненко, В.И. Концептуальный проект пригородного электропоезда с инерционным накопителем энергии / В.И. Омеляненко, Б.Г. Любарский, Л.В. Оверьянова, Е.С. Рябов // Локомотив-информ. – 2013. – № 11. – С. 6–11.

61. Овер'янова, Л.В. Визначення параметрів та оцінка властивостей електромеханічних інерційних накопичувачів енергії для приміських електропоїздів: автореф. дис. канд. техн. наук: 05.22.09 / Овер'янова Лілія Вікторівна; Національний техн. ун-т «Харківський політехнічний інститут». – Х., 2014. – 20 с.
62. Омеляненко, В.И. Работа бортового электромеханического инерционного накопителя энергии в тяговом приводе пригородного электропоезда / В.И. Омеляненко, Л.В. Оверьянова // *Залізничний транспорт України*. – 2015. – № 1. – С. 44–49.
63. Рябов, Е.С. Определение параметров накопителя энергии для электроподвижного состава с асинхронным тяговым приводом в режиме ограничения тока тяговой сети / Е.С. Рябов // *Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут»*. – Х.: НТУ «ХПІ», 2015. – № 6 (1115). – С. 132–137.
64. Оверьянова, Л.В. Моделирование работы электромеханического инерционного накопителя энергии в системе тягового привода при торможении электропоезда / Л.В. Оверьянова, О.В. Омеляненко, И.В. Новостасовский // *Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут»*. – Х.: НТУ «ХПІ», 2015. – № 18 (1127). – С. 115–119.
65. Северин, В.П. Управление потоком мощности в тяговом приводе электропоезда при питании от контактной сети и инерционных накопителей энергии / В.П. Северин, Л.В. Оверьянова, О.В. Омеляненко // *Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут»*. – Х.: НТУ «ХПІ», 2015. – № 58 (1167). – С. 29–32.
66. Любарский, Б.Г. Сравнительный анализ накопителей энергии для транспортных средств / Б.Г. Любарский, В.П. Шайда, С.Г. Бураковский // *Залізничний транспорт України*. – 2015. – № 6. – С. 13–21.
67. Жемеров, Г.Г. Системы электроснабжения метрополитена с современными полупроводниковыми преобразователями и накопителями энергии / Г.Г. Жемеров, Н.А. Ильина, Д.В. Тугай, О.И. Холод // *Електротехніка і електромеханіка*. – Х.: НТУ «ХПІ», 2013. – № 1. – С. 41–49.
68. Жемеров, Г.Г. Энергия и мощность в системах электроснабжения с полупроводниковыми преобразователями и накопителями энергии / Г.Г. Жемеров, Д.В. Тугай // *Електротехніка і електромеханіка*. – Х.: НТУ «ХПІ», 2014. – № 1. – С. 45–57.
69. Сокол, Е.И. Силовая электроника и концепция энергетика «SMART GRID» / Е.И. Сокол, Г.Г. Жемеров, Д.В. Тугай // *Енергосбережение. Энергетика. Энергоаудит*. – 2013. – Спец. выпуск т.1, № 8 (114) – С. 7–16.
70. Жемеров, Г.Г. Уменьшение потерь энергии в системах электроснабжения подвижного состава метрополитена при использовании энергоемких накопителей электроэнергии / Г.Г. Жемеров, Н.А. Ильина, Д.В. Тугай, // *Техн. электродинаміка*. – 2014. – № 5. – С. 137–138.
71. Костин, Н.А. Автономность рекуперативного торможения – основа надежной энергоэффективной рекуперации на электроподвижном составе постоянного тока / Н.А. Костин, А.В. Никитенко // *Залізничний транспорт України*. – 2014. – Вып. 3. – С. 15–23.
72. Саблін, О.І. Проблеми та перспективи ефективного використання рекуперації електроенергії в системі електротранспорту / О.І. Саблін, В.Г. Кузнецов, В.В. Артемчук // *Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології*. – Вінниця: ВНТУ. – 2013. – № 2 (26). – С. 126–130.
73. Саблін О.І. Дослідження ефективності процесу рекуперації електроенергії в умовах метрополітену / О.І. Саблін // *Восточно-Европейский журнал передовых технологий*. – 2014. – Вып. 8 (72) / том 6/. – С. 9–13.
74. Саблін, О.І. Моделювання взаємодії електрорухомого складу в режимі рекуперації електроенергії / О.І. Саблін, В.Г. Кузнецов, О.І. Бондар, В.В. Артемчук // *Електрифікація транспорту*. – 2014. – № 7. – С. 34–41.
75. Кузнецов, В.Г. Анализ резервов энергосбережения при внедрении системы рекуперации энергии на поездах Днепропетровского метрополитена / В.Г. Кузнецов, О.И. Саблин, П.В. Губский, Е.Г. Кольхаев // *Гірничя електромеханіка та автоматика: наук.-техн. зб. Нац. гірничого ун-ту*. – Д., 2015. – № 95. – С. 68–73.
76. Нікітенко, А.В. Збільшення об'єму рекуперованої електроенергії на електропоїздах постійного струму / А.В. Нікітенко, М.О. Костін // *Залізничний транспорт України*. – 2015. – Вып. 3. – С. 25–31.
77. Шевлюгин, М.В. Ресурс- и энергосберегающие технологии на железнодорожном транспорте и метрополитенах, реализуемые с использованием накопителей энергии : автореф. дис.... д-ра техн. наук : 05.09.03 / Шевлюгин Максим Валерьевич ; Моск. гос. ун-т путей сообщения. – М., 2013. – 49 с.
78. Шевлюгин, М.В. Снижение расхода электроэнергии на движение поездов в Московском метрополитене при использовании емкостных накопителей энергии / М.В. Шевлюгин, К.С. Желтов // *НТТ – Наука и техника транспорта*. – 2008. – Вып. № 1. – С. 15–20.
79. Шевлюгин, М.В. Повышение энергетических показателей работы системы тягового электроснабжения железных дорог с помощью накопителей энергии / М.В. Шевлюгин // *НТТ – Наука и техника транспорта*. – 2007. – № 1. – С. 68–72.
80. Шевлюгин, М.В. Энергосберегающие схемы тягового электроснабжения железных дорог на базе сверхпроводниковых индуктивных накопителей энергии / М.В. Шевлюгин // *Електротехніка*. – 2008. – № 7. – С. 28–34.

81. Шевлюгин, М.В. Возможность использования энергии BPS на базе аккумуляторных батарей G1-GACELL в системе тягового электроснабжения Московского метрополитена / М.В. Шевлюгин, М.П. Бадёр, М.П. Бычкова, В.А. Гричишников // Электроника и электрооборудование транспорта. – 2010. – № 5-6. – С. 23–26.
82. Шевлюгин, М.В. Снижение расхода энергии и рабочей мощности основного силового оборудования тяговых подстанций электрических железных дорог с помощью накопителей энергии / М.В. Шевлюгин // Монография. – 2007. – 151 с.
83. Шевлюгин М.В. Энергосбережение на железнодорожном транспорте с помощью сверхпроводниковых индуктивных накопителей энергии / М.В. Шевлюгин // НТТ – Наука и техника транспорта. – 2008. – Вып. № 2. – С. 67–70.
84. Черемисин, В.Т. Влияние рекуперативного торможения на систему тягового электроснабжения / В.Т. Черемисин, В.Л. Незевак, А.С. Вильгельм, В.А. Кващук // Локомотив. – 2013. – № 8. – С. 5–8.
85. Черемисин, В.Т. Выбор мест установки накопителей электроэнергии на полигоне постоянного тока по критерию энергоэффективности / В.Т. Черемисин, М.М. Никифоров, В.Л. Незевак // Наука и транспорт. Модернизация железнодорожного транспорта. – 2013. – № 2(6). – С. 48–52.
86. Черемисин, В.Т. Повышение энергетической эффективности системы тягового электроснабжения в условиях работы постов секционирования с накопителями электрической энергии / В.Т. Черемисин, В.Л. Незевак, А.П. Шатохин // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2015. – № 10. – С. 54–64.
87. Вильгельм, А.С. Повышение энергетической эффективности рекуперативного торможения на железных дорогах постоянного тока: автореф. дис. канд. техн. наук : 05.22.07 / Вильгельм Александр Сергеевич ; Омский гос. ун-т путей сообщения. – Омск, 2013. – 20 с.
88. Nezevak, V. Evaluation of the Energy Efficiency of Energy Storage for Electric Rolling Stock of Railways DC / V. Nezevak, V. Cheremisin, A. Shatohin // International Journal of Advanced Railway. – 2013. – V. 1. – № 2. – P. 53–56.
89. Штанг, А.А. Повышение эффективности электротранспортных систем на основе использования накопителей энергии: автореф. дис. канд. техн. наук: 05.09.03. / Штанг Александр Александрович ; Новосибир. гос. техн. ун-т – Новосибирск, 2006. – 19 с.
90. Щуров, Н.И. Применение накопителей энергии в системах электрической тяги / Н.И. Щуров, К.В. Щеглов, А.А. Штанг // Сборник научных трудов НГТУ. – Новосибирск, 2008. – № 1(51). – С. 99–104.
91. Штанг, А.А. Применение накопителей энергии в системах электроснабжения городского электрического транспорта / А.А. Штанг, Е.А. Спиридонов, М.В. Ярославцев // Транспорт Российской Федерации. – 2012. – № 3–4 (40–41). – С. 68–70.
92. Улитин, В.Г. Проблема использования избыточной энергии рекуперации на городском электрическом транспорте / В.Г. Улитин // Коммунальное хозяйство городов. – 2009. – № 88. – С. 266–271.
93. Белозеров, В.И. Актуальность создания карьерных локомотивов с накопителем энергии / В.И. Белозеров, В.П. Степаненко // Горная промышленность. – 2014. – № 4. – С. 76.
94. Степаненко, В.П. Применение комбинированных (гибридных) энергосиловых установок в горной промышленности / В.П. Степаненко // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2014. – № 11. – С. 322–328.
95. Степаненко, В.П. Перспективы применения комбинированных накопителей энергии на карьерном железнодорожном транспорте / В.П. Степаненко, В.И. Белозеров, Л.Н. Сорин // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2015. – № 5. – С. 317–322.
96. Степаненко, В.П. Актуальность ресурсо- и энергосбережения подземных рудничных локомотивов с комбинированными накопителями энергии / В.П. Степаненко, Л.Н. Сорин // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2015. – № 5. – С. 323–328.
97. Степаненко, В.П. Энергоэффективность подземной локомотивной откатки с гибридными накопителями энергии / В.П. Степаненко, Л.Н. Сорин // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2015. – № 6. – С. 135–140.
98. Domínguez M. Energy efficiency on train control: design of metro ATO driving and impact of energy accumulation devices / M. Domínguez, A. P. Cucala, A. Fernández, R. R. Pecharromás, J. Blanquer // 9th World Congress on Railway Research (22.05–26.05.2011). – Madrid, 2011. – P. 1–12. – Режим доступа: http://www.vialibre-ffe.com/pdf/Dominguez_Maria.pdf. – Назва з екрану. – Перевірено 26.05.2016.
99. Li, X. An energy-efficient scheduling and speed control approach for metro rail operations / X. Li, H.K. Lo // Transportation Research. – 2014. – Part B (64). – P. 73–89.
100. Yang, X. An energy-efficient scheduling approach to improve the utilization of regenerative energy for metro systems / X. Yang, A. Chen, X. Li, B. Ning, T. Tang // Transportation Research. – 2015. – Part C (57). – P. 13–29.
101. Szeląg, A. Aspekty efektywności i energooszczędności w procesie modernizacji układów zasilania trakcji tramwajowej / A. Szeląg, T. Maciolek, Z. Drązek, M. Patoka // Pojazdy szynowe. Kwartalnik naukowo-techniczny poświęcony zagadnieniom konstrukcji, budowy i badań taboru szynowego. – 2011. – № 3. – P. 34–42.

102. Allègre, A.-L. Energy Storage System With Supercapacitor for an Innovative Subway / A.-L. Allègre, A. Bouscayrol, P. Delarue, P. Barrade, E. Chattot, S. El-Fassi // IEEE Transactions on Industrial Electronics. – Vol. 57. – Issue 12. – 2010. – P. 4001–4012.
103. Barrero, R. Improving energy efficiency in public transport: Stationary supercapacitor based Energy Storage Systems for a metro network / R. Barrero, X. Tackoen, J. Van Mierlo // Vehicle Power and Propulsion Conference, 2008. VPPC '08. IEEE. – P. 1–8.
104. Barrero, R. Energy saving in public transport: enhanced energy storage systems for improved on-board light rail vehicle efficiency / R. Barrero, X. Tackoen, J. Van Mierlo. IEEE Vehicular Tech. Magazin. – 2008. – № 3 (3). – P. 26–36.
105. Pavel, D. The energy storage system with supercapacitor for public transport / D. Pavel, S. Lubos // Vehicle Power and Propulsion Conference, 2009. VPPC '09. IEEE. – P. 1826–1830.
106. Sevilla, M. Energy storage applications of activated carbons: supercapacitors and hydrogen storage / M. Sevilla, R. Mokaya // Energy & Environmental Science. – 2014. – Vol. 7. – № 4. – P. 1250–1280.
107. Konarzewski, M. Hybrid locomotives overview of construction solutions / M. Konarzewski, T. Niezdova, M. Stankiewicz, P. Szurgott // Journal of KONES Powertrain and Transport. – 2013. – Vol. 20. – № 1. – P. 124–134.
108. Maruyama, N. Stabilisierung der Fahrleitungsspannung mittels Schwungrad / N. Maruyama // Elektrische Bahnen. – 1992 (90). – № 4. – P. 125–129.
109. Moninger, F. Инерционные накопители энергии в системах тягового электроснабжения / F. Moninger // Железные дороги мира. – 2000. – № 12. – С. 41–43.
110. Negishi, H. Аккумуляирование энергии на железных дорогах / H. Negishi // Железные дороги мира. – 2003. – № 6. – С. 55–59.
111. Rufer, A. Supercapacitor-based energy storage substation for voltage compensation in weak transportation networks / A. Rufer, D. Hotellier, P. Barrade // IEEE Transactions on Power Delivery. – 2004. – Vol. 19, № 2. – P. 629–636.
112. Pulling, N. Tram builders go to ground to find business / N. Pulling // Tramways and Urban Transit. – 2009. – 72, № 860. – P. 300–303.
113. Czerwiński, A. New high-energy lead-acid battery with reticulated vitreous carbon as a carrier and current collector / A. Czerwiński, S. Obrębski, Z. Rogulski // Journal of Power Sources. – 2012. – № 198. – P. 378–382.
114. Liu, H. Flywheel energy storage-an upswing technology for energy sustainability / H. Liu, J. Jiang // Energy and Buildings. – 2007. – № 39 (5). – P. 599–604.
115. Flynn, M. Saving energy using flywheels / M. Flynn, P. McMullen, O. Solis // IEEE Industry Applications Magazine. – 2008. – № 14 (6). – P. 69–76.
116. Iannuzzi, D. The use of energy storage systems for supporting the voltage needs of urban and suburban railway contact lines / D. Iannuzzi, E. Pagano, P. Tricoli // Energies. – 2013. – № 6 (4). – P. 1802–1820.
117. Ciccirelli, F. Stationary ultracapacitors storage device for improving energy saving and voltage profile of light transportation networks / F. Ciccirelli, D. Iannuzzi, D. Lauria // Transportation Research Part C: Emerging Technologies. – 2012. – № 21 (1). – P. 321–337.
118. Iannuzzi, D. Optimal Design of Stationary Supercapacitors Storage Devices for Light Electrical Transportation Systems / D. Iannuzzi, D. Lauria, P. Tricoli // Journal of Optimization and Engineering. – 2012. – № 13 (4). – P. 689–704.
119. Iannuzzi, D. Speed-based state-of-charge tracking control for metro trains with onboard supercapacitors / D. Iannuzzi, P. Tricoli // IEEE Trans. Power Electron. – 2012. – № 27 (3-4). – P. 2129–2140.
120. Shimada, M. Energy storage system for effective use of regenerative energy in electrified railways / M. Shimada, R. Oishi, D. Araki // Hitachi Review. – 2010. – № 59 (1). – P. 33–38.
121. Ciccirelli, F. Control of metro-trains equipped with onboard supercapacitors for energy saving and reduction of power peak demand / F. Ciccirelli, D. Iannuzzi, P. Tricoli // Transportation Research Part C: Emerging Technologies. – 2012. – № 24. – P. 36–49.
122. Sekijima, Y. Development of an energy storage system for DC electric rolling stock by applying electric double layer capacitors / Y. Sekijima, M. Inui, Y. Monden, I. Aoyama // Japanese Railway Engineering. – 2005. – № 156. – P. 35–41.

Andrii Sulym, PhD (Technical Sciences)

(Senior researcher, SE «Ukrainian Research Van-Building Institute»)

Anatolii Donchenko, PhD (Technical Sciences), Senior Research Associate

(Director of SE «Ukrainian Research Van-Building Institute»)

Oleksii Fomin, Doctor of Science (Technical Sciences)

(Professor of the Department «Car and Carriages' Economy» of the State University for Transport Economy and Technologies)

Pavlo Khozia, PhD (Technical Sciences)
(Head of laboratory SE «Ukrainian Research Van-Building Institute»)

PERSPECTIVE OF ENERGY STORAGE IMPLEMENTATION IN TRACTION RAIL TRANSPORT

The review and analysis of the energy efficiency research of traction rail transport through the use of energy storage. The basic directions of traction rail transport with energy storages are determined. According to the generalized analysis results of a significant amount of research is estimated the possible amount of savings resources through the implementation of energy storage on different types of rail traction transport. It is established that the most effective use of energy storage can be achieved on a city electric transport, especially in the metro. The main advantage of the use of energy storage in the metro is rolling stock operation feature. A set of tasks is formulated that can be solved in the subway through the implementation of energy storage. The basic lesser known and urgent tasks in solving the problem of energy efficiency in the metro through the application of energy storage, including the creation and modernization of metro rolling stock are determined.

Key words: traction rail transport, energy storage, metro rolling stock, energy efficiency.

REFERENCES

1. *Kompleksna programma onovlennia zaliznychnogo rukhomogo skladu Ukrainy na 2008–2020 roky* [A comprehensive program of updating the railway rolling stock of Ukraine for 2008–2020 years]. Available at: <http://uz.gov.ua>.
2. *Derzhavna programma rozvytku miskogo elektrotransportu na 2007–2015 roky* [The state program of development of urban electric transport for 2007–2015 years]. Available at: http://www.uazakon.com/documents/date_8o/pg_grgfl/index.htm.
3. *Pro energozberezhennya: zakon Ukrainy* [On energy saving: Ukrainian law]. Kyiv, Parlamentske vydavnytstvo Publ., 2014. 15 p.
4. *Pro prioritetni napriamky innovatsiinoi diialnosti v Ukraini: zakon Ukrainy* [On innovation activity priorities in Ukraine: Ukrainian law]. Kyiv, Vidomosti Verkhovnoi Rady Ukrainy, 2012, issue 19–20, article 166. p 799.
5. *Pro prioritetni napriamky rozvytku nauky i tekhniky: zakon Ukrainy* [On the priority directions of science and technology: Ukrainian law]. Kyiv, Ofitsiyni visnyk Ukrainy, 2010, issue 77, article 2721. p 29.
6. But D.A., Alievskiy B.L., Mizyurin S.R., Vasyukevich P.V. *Nakopiteli energii* [Storage energy]. Moscow, Energoatomizdat Publ., 1991. 400 p.
7. Astakhov Yu.N., Vennikov V.A., Ter-Gazaryan A.G. *Nakopiteli energii v elektricheskikh sistemakh* [Energy storage in electrical systems]. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 1989. 159 p.
8. Kossov Ye.Ye., Nikipelyy S.O. *Sposob upravleniya silovoy ustanovkoy i ustroystvo dlya ego realizatsii* [Propulsion control method and device for its realization] Patent RU, no. 2009144792/11, 2011.
9. Nikipelyy S.O. *Povysheniye effektivnosti raboty teplovozov pri primenenii nakopiteleya energii v silovoy tsepi* [Improving the efficiency of diesel locomotives in the application of energy storage in the power circuit. Cand. Diss.]. Moscow, 2011. 167 p.
10. Kossov Ye.Ye., Nikipelyy S.O. *Primeneniye nakopiteley maloy energoyemkosti v silovoy tsepi teplovoza* [The use of low power consumption of disk drives in the power circuit of the locomotive]. *Visnyk Skhidnoukrajinskogo natsionalnogo universytetu imeni V. Dalia* [Bulletin of East Ukrainian National University of the V. Dahl], 2010, issue 5 (147), part 1, pp. 246–248.
11. Kossov Ye.Ye., Azarenko V.A., Kornev A.N., Komarnitskiy M.M. *Vliyaniye effektivnosti nakopiteleya energii na toplivnuyu ekonomichnost lokomotiva* [The impact of energy efficiency on the storage of locomotive fuel efficiency]. *Lokomotiv-inform – Lokomotiv inform*, 2008, no. 3, pp. 44–45.
12. Kossov Ye.Ye., Azarenko V.A., Komarnitskiy M.M. *K voprosu vybora moshchnosti kharakteristik perspektivnogo avtonomnogo tyagovogo podvizhnogo sostava* [On the question of the choice of long-term power autonomous traction vehicle characteristics].

mous traction rolling stock characteristics]. *Nauka i transport – Science and Transport*, 2007, special issue, pp. 20–21.

13. Sharyakov V.A., Sharyakova O.L., Bakshaev O.K., Movchan A.S. Issledovaniye vozmozhnosti povysheniya ekonomichnosti elektricheskoy peredachi na manevrovom teplovoze pri ispolzovanii nakopiteley energii [Study the possibility of increasing the efficiency of the electric transmission shunting diesel locomotive when using energy storage]. *Lokomotiv-inform – Lokomotiv inform*, 2010, no. 11, pp. 8–9.

14. Losev Ye.P. *Effektivnost primeneniya nakopiteley energii v silovykh ustanovkakh avtonomnykh lokomotivov* Cand, Diss. [The effectiveness of energy storage in power plants autonomous locomotives. Cand. Diss.]. Moscow, 2000. 211 p.

15. Noskov V.N. *Sverkhprovodnikovyye induktivnyye nakopiteli energii v energoustanovkakh zheleznodorozhnogo transporta* Cand, Diss. [Superconducting inductive energy storage power plants in the rail transport. Cand. Diss.]. Rostov-on-Don, 2010. 209 p.

16. Noskov V.N., Pustovetov M.Yu. Ob energoemkosti nakopitelya energii dlya teplovoza [On the energy intensity of energy storage for diesel locomotive]. *Vestnik VNIIZHT* [Bulletin VNIIZHT], 2008, issue 5, pp. 42–44.

17. Ustenko A.V., Pasko O.V. Ispolzovanie nakopiteley energii dlya uluchsheniya parametrov lokomotivov [The use of energy storage to improve the parameters of locomotives]. *Lokomotiv-inform – Lokomotiv inform*, 2012, issue 10, pp. 4–6.

18. Cherniak Yu.V., Gatchenko V.O., Gaiur A.V. Analiz isnuichykh i perspektivnykh napriamiv zastosuvannya rekuperativnykh system na transporti z metoiu pidvyshchennia yogo energoefektyvnosti [Analysis of existing and future areas of application recuperative systems in transport to improve its energy efficiency]. *Zbirnyk naukovykh prats DETUT. Seriya «Transportni systemy i tekhnologii»* [Collection of scientific works DETUT. Series «Transport systems and technologies»], 2014, issue 24, pp. 134–139.

19. Pisarev L.T., Chernyak Yu.V., Terovanesov M.R. Rekuperativnoye tormozheniye poyezdov s ispolzovaniyem impulsnykh energoemkikh kondensatorov [Regenerative braking trains using pulsed energy-capacitors]. *Zbirnyk naukovykh prats DonIZT*. [Collection of scientific works DonIZT], 2009, issue 17, pp. 97–106.

20. Volodarets M.V. Vyznachennia neobkhidnoi energoemnosti nakopichuvachiv energii ta potuzhnosti sylovoi ustanovky manevrovogo teplovozu iz gibrydnoi tiagoiu [Determining the required power consumption capacity energy storage and propulsion shunting locomotive with hybrid traction]. *Zbirnyk naukovykh prats DonIZT*. [Collection of scientific works DonIZT], 2011, issue 26, pp. 1–3.

21. Falendysh A.P., Volodarets M.V. Rozrobka modeli dlia vyboru potuzhnisnykh kharakterystyk manevrovogo teplovozu iz gibrydnoi peredacheiu [Development of models to choose power characteristics shunting locomotive with hybrid transmissions]. *Zbirnyk naukovykh prats DonIZT*. [Collection of scientific works DonIZT], 2010, issue 24, pp. 122–130.

22. Biriukov O.S., Falendysh A.P., Volodarets M.V., Zolotukhin I.V. Modernizatsiia manevrovogo teplovozu CHME3T z metoiu zmenshennia vytraty palyva i znachnogo znyzhennia shkidlyvykh rehovyn [Modernization shunting locomotive CHME3T to reduce fuel consumption and a significant reduction in harmful emissions]. *Zbirnyk naukovykh prats UkrDAZT*. [Collection of scientific works UkrSART], 2011, issue 126, pp. 157–160.

23. Falendysh A.P., Volodarets M.V., Artemenko O.V. Vyznachennia ratsionalnykh parametriv gibrydnogo manevrovogo teplovozu na bazi CHME3 [Determination of rational parameters of hybrid shunting locomotive at the CHME3]. *Visnyk Shkhydnoукраїнського національного університету імені В. Дала* [Bulletin of East Ukrainian National University of the V. Dahl], 2015, issue 1 (218), pp. 253–256.

24. Sergiienko M.I., Panasenko M.V., Pelepeichenko V.I., Gordiienko D.O. Otsinka efektyvnosti zastosuvannya nakopichuvachiv elektroenergii v energetychnii ustanovtsi dyzel-poizda DEL-02 [Evaluation of efficacy storage of electricity in the power plant diesel train DEL-02]. *Zaliznychnyi transport Ukrainy – Railway transport of Ukraine*, 2011, issue 4, pp. 29–35.

25. Sergiienko M.I., Pelepeichenko V.I., Goncharov O.M., Gordiienko D.O. Otsinka efektyvnosti variantiv modernizatsii energetychnoi ustanovky manevrovogo teplovozu CHME3 [Evaluating the effectiveness of power plant upgrade options shunting locomotive CHME3]. *Zaliznychnyi transport Ukrainy – Railway transport of Ukraine*, 2011, issue 6, pp. 35–38.

26. Sergiienko M.I., Goncharov O.M., Pelepeichenko V.I., Gordiienko D.O. Vybir kharakterystyk keruvannya gibrydnoi energetychnoi ustanovkoiu perspektivnogo manevrovogo teplovoza [Selection management features a hybrid power plant perspective shunting locomotive]. *Visnyk Shkhydnoукраїнського національного університету імені В. Дала* [Bulletin of East Ukrainian National University of the V. Dahl], 2011, issue 4 (158), pp. 122–132.

27. Sergiienko M.I., Goncharov O.M., Pelepeichenko V.I., Mokrousov S.D. Prognozuvannya resursu dyzeliv perspektivnykh energetychnykh ustanovok dlia manevrovogo teplovoza CHME3 [Prediction prospective resource of diesel power plants for shunting locomotive CHME3]. *Zaliznychnyi transport Ukrainy – Railway transport of Ukraine*, 2012, issue 5, pp. 40–44.

28. Shcherbakov V.P., Sergiienko M.I., Kagramanian A.O., Pelepeichenko V.I. Zmenshennia vykydiv azotu dyzelem manevrovogo teplovozu shliakhom zastosuvannya gibrydnoi energetychnoi ustanovky [Reduction of nitrogen diesel shunting locomotive through the use of hybrid power plant]. *Visnyk Shkhydnoукраїнського національного університету імені В. Дала* [Bulletin of East Ukrainian National University of the V. Dahl], 2012, issue 5 (176), part 1, pp. 173–179.

29. Goncharov O.M., Kinter S.O., Tereshchak Yu.V. Analiz peredumov modernizatsii manevrovyykh teplovoziv Lvivskoi zaliznytsi gibrydnoi energetychnoi ustanovkoiu [Analysis preconditions modernization of shunting locomotives Lviv railway hybrid power plant]. *Zaliznychnyi transport Ukrainy – Railway transport of Ukraine*, 2014, issue 6, pp. 19–25.
30. Varakin A.I., Varakin I.N., Menukhov V.V. Manevrovy i universalnyy lokomotiv s gibridnoy silovoy ustanovkoy i nakopitelem energii na baze elektrokhimicheskikh kondensatorov [Shunting and versatile locomotive with hybrid propulsion and energy storage based electrochemical capacitors]. *Nauka i tekhnika transportu – Science and technology of transport*, 2007, issue 2, pp. 34–40.
31. Varakin I.N., Menukhov V.V., Samitin V.V. Primeneniye elektrokhimicheskikh kondensatorov ZAO «EL-TON» v sostave gibridnykh energosilovykh ustanovok na karyernom avtotransporte [The use of electrochemical capacitors CJSC «Elton» as part of hybrid energy-power plants on the career road transport]. *Gornyy informatsionno-analiticheskyy byuleten – Mining informational and analytical bulletin*, 2008, Private issue 8: Mining machines, pp. 106–115.
32. Varakin I.N., Menukhov V.V. «ELTON» predlagayet – kachestvo, nadezhnost, ekonomichnost [«Elton» offers – quality, reliability, economy]. *Gazeta «Evrasiya vesti» – The newspaper «Eurasia Vesti»*, 2008, Private issue 8: Mining machines, pp. 106–115.
33. Varakin I.N., Kilganova Ye.A., Menukhov V.V., Razumov S.N., Samitin V.V., Tarasov S.V. *Elektrokhimicheskyy kondensator* [Electrochemical capacitor]. Patent RU, no 2004137643/09, 2007.
34. Varakin I.N., Kilganova Ye.A., Klementov A.P., Litvinenko S.V., Menukhov V.V., Samitin V.V., Starodubtsev N.F., Stepanov A.B. In Proceedings of “The 7-13th International Seminar on Double Layer Capacitors and Similar Energy Storage Devices”, 1997-2003, Deerfield Beach, Florida, USA.
35. Bychkova M.P. Energoeffektivnyye tekhnologii metro [Energy-efficient technology underground]. *Avtomatizatsiya i IT v energetike – Automation and IT in the energy sector*, 2011, issue 5 (22), pp. 34–36.
36. Bychkova M.P. Sistema nakopitelei elektroenergii dlya povysheniya energoeffektivnosti v metro [The system stores electricity for energy efficiency in the subway]. *Energosovet – Energosovet*, 2011, issue 3 (16), pp. 74-76.
37. Bychkova M.P. Energoberezheniye v metro [Energy saving in the metro]. *Transport Rossiyskoy Federatsii – Transport of the Russian Federation*, 2010, special issue Science and Transport. Subways future, p. 67.
38. Bialobrzheskiy O.V. Energoberezhennia v elektrotekhnologichnykh ustanovkakh ta prystroiakh z elektrychnymy nakopichuvachamy energii [Energy saving in electro-technological installations and devices with electrical energy storage]. *Visnyk Kremenchutskogo derzhavnogo politekhnichnogo universytetu* [Bulletin of the Kremenchug State Polytechnic University], 2009, issue 10/2009 (38), pp. 141–145.
39. Bialobrzheskiy O.V., Shipunova I.V. Energetychni pokaznyky rezhymu galmuvannia mashyny postiinogo strumu z podacheiu energii na kondensatorni nakopichuvach [Energy performance braking mode DC machine with transfer of energy to the condenser storage]. *Naukovi pratsi Donetskogo natsionalnogo tekhnichnogo universytetu. Seriya «Elektrotekhnika i energetyka»* [Scientific papers of Donetsk National Technical University. Series: «Electrical and Power Engineering»], 2013, issue 1 (14), pp. 53–58.
40. Bialobrzheskiy O.V., Shipunova I.V. *Prystrii nakopichennia elektrychnoi energii tiagovogo elektrychnogo kompleksu elektrovoza* [Electricity storage device electric traction electric locomotive complex]. Patent UA, no u2013 05046, 2013.
41. Vasilyev V.A. *Povysheniye energeticheskoy effektivnosti elektropoyezdov postoyannogo toka*. Avtoreferat Cand, Diss. [Energy efficiency of electric trains of direct current. Cand, Diss.]. St. Petersburg, 2012. 16 p.
42. Vasilyev V.A. Analiz vozmozhnosti primeneniya emkostnykh nakopiteley energii [Analysis of possibility of application of capacitive energy storage]. *Izvestiya PGUPS* [Proceedings of PSTU], 2011, issue 1, pp. 35–44.
43. Denshchikov K.K. Kombinirovannyye energeticheskiye ustanovki na osnove superkondensatorov [Combined power plants based on supercapacitors]. *Konferentsiya OIVT RAN «Rezultaty fundamentalnykh issledovaniy v oblasti energetiki i ikh prakticheskoye znachenie»* [The conference JIHT RAS «Basic research in the field of energy and their practical value»]. Moscow, 2008.
44. Kolb A.A. Akkumulirovaniye energii rekuperatsii eletrifitsirovannogo transporta s pomoshchyu emkostnykh energonakopiteley [Storage of energy recovery electric transport by using capacitive energy storage]. *Visnyk Dnipropetrovskogo natsionalnogo universytetu zaliznychnogo transport imeni akademika Lazariana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after academician V. Lazaryan], 2010, issue 31, pp. 89–94.
45. Kolb A.A. Ispolzovaniye energii rekuperatsii elektrottransporta dlya upravleniya kachestvom elektroenergii [The use of the regenerative energy of electric vehicle to control the quality of electricity]. *Elektromekhanichni i energoberegaiuchi systemy – Electromechanical and energy saving systems*, 2010, issue 4/2010 (63), pp. 98-102.
46. Okhotnikov N.S. *Povysheniye tyagovykh svoystv elektrovozov pri pomoshchi nakopiteley energii*. Avtoreferat Cand, Diss. [Increased traction properties using the electric energy storage devices. Cand, Diss.]. Moscow, 2010. 24 p.
47. Okhotnikov N.S. Ispolzovaniye nakopiteley energii dlya povysheniya tyagovykh svoystv elektrovozov [The use of energy storage devices to improve traction properties of electric locomotives]. *Vestnik VNIIZHT* [Bulletin VNIIZHT], 2010, issue 5, pp. 33–36.

48. Pupynin V.N., Shevlyugin M.V. Razrabotka energosberegayushchikh skhem tyagovogo elektrosnabzheniya zheleznykh dorog postoyannogo toka 3,3 kV s ispolzovaniyem nakopiteley energii [Development of energy saving schemes of traction current railway DC 3.3 kV with energy storage devices]. *Sbornik nauchnykh trudov. Fundamentalnyye i poiskovyie nauchno-issledovatel'skiye raboty v oblasti zheleznodorozhnogo transporta* [Collection of scientific papers. The fundamental and exploratory research projects in the field of railway transport], 1997, issue 916, pp. 149–152.
49. Brodskiy Yu.A., Podaruyev A.I., Pupynin V.N., Shevlyugin M.V. Statsionarnaya sistema akkumulirovaniya energii rekuperatsii elektropodvizhnogo sostava na baze emkostnykh nakopiteley energii [Stationary energy storage system energy recovery of electric rolling stock subway, for capacitive energy storage]. *Elektrotehnika – Electrical engineering*, 2008, issue 7, pp. 38–41.
50. Rodkin D.I., Velichko T.V. Osobennosti osushchestvleniya elektroprivoda s nakopitelyami energii [Especially the implementation of electric drive with energy storage]. *Visnyk KDPU. Naukovi pratsi Kremenchut'skogo derzhavnogo politekhnichnogo universytetu* [Bulletin KSPU. Proceedings of the Kremenchug State Polytechnic University], 2000, issue 2/2000 (9), pp. 124–132.
51. Rodkin D.I., Kornet V.N. K teorii elektroprivoda s emkostnym nakopitelem [To the theory of electric drive with capacitive energy storage]. *Visnyk KDPU. Naukovi pratsi Kremenchut'skogo derzhavnogo politekhnichnogo universytetu* [Bulletin KSPU. Proceedings of the Kremenchug State Polytechnic University], 2000, issue 2/2000 (9), pp. 149–151.
52. Khvorost N.V. Kontseptsiya novoy struktury sistemy elektricheskoy tyagi dlya metropolitena [The concept of the new structure of electric traction systems for underground]. *Kommunalnoye khozyaystvo gorodov – Utilities cities*, 2003, issue 53, pp. 172–179.
53. Khvorost M.V., Bozhko V.V. Sistema elektrotiagovogo zabezpechennya pidvyshchenoi efektyvnosti dlya metropoliteniv [Electrical traction system providing increased efficiency for metro]. *Elektrotehnika i elektromekhanika – Electronics and electrical engineering*, 2006, issue 6, pp. 79–86.
54. Khvorost M.V. *Rozvytok naukovykh osnov system elektrychnoi tyagi metropoliteniv*. Avtoreferat Doct. Diss. [The development of scientific bases of electric traction subways. Doct. Diss.]. Dnipropetrovsk, 2011. 43 p.
55. Shcherbak Ia.V., Nerubatskiy V.P. Analiz zastosuvannia rekuperatyvnogo galmuvannia na zaliznytsiakhi Ukrainy [Analysis of the use of regenerative braking on the railways of Ukraine]. *Zaliznychnyi transport Ukrainy – Railway transport of Ukraine*, 2011, issue 2, pp. 30–34.
56. Omelyanenko V.I., Omelyanenko G.V. Inertsionnyy nakopitel energii dlya sistem tyagovogo elektrosnabzheniya [Inertial energy storage for power supply systems]. *Tekhnicheskaya elektrodinamika – Technical electrodynamics*, 2002, issue 4, pp. 83–88.
57. Omelyanenko G.V. *Elektromekhanicheskii preobrazovatel energii inertsionnogo nakopitelya dlya setey tyagovogo elektrosnabzheniya* Cand. Diss. [The electromechanical transducer of the inertial energy storage for traction power supply networks. Cand. Diss.]. Kharkov, 1999. 169 p.
58. Omelyanenko V.I., Bondarenko V.Ye., Omelyanenko G.V., Overyanova L.V. Nakopiteli energii – perspektivnaya tekhnologiya dlya zheleznykh dorog [Storage of energy – a promising technology for railways]. *Lokomotiv-inform – Lokomotiv inform*, 2011, issue 4, pp. 4–9.
59. Yakunin D.I. *Elektromekhanichna sistema pryvoda z liniynym dvygunom dlya nakhyly kuzoviv shvydkisnogo rukhomogo skladu* Avtoreferat Cand. Diss. [Electromechanical drive system with linear motor to tilt the body speed rolling stock. Cand. Diss.]. Kharkov, 2010. 21 p.
60. Omelyanenko V.I., Lyubarskiy B.G., Overyanova L.V., Ryabov Ye.S. Kontseptualnyy proyekt prigorodnogo elektropoezda s inertsionnym nakopitelem energii [Conceptual design of the suburban electric trains with inertial energy storage]. *Lokomotiv-inform – Lokomotiv inform*, 2013, issue 11, pp. 6–11.
61. Overyanova L.V. *Vyznachennia parametriv ta otsinka vlastyvostey elektromekhanichnykh inertsyinykh nakopychuvachiv energii dlya prymiskykh elektroprivodiv* Avtoreferat Cand. Diss. [Definition of parameters and evaluation of the electromechanical properties of the inertial energy storage for a commuter trains. Cand. Diss.]. Kharkov, 2014. 20 p.
62. Omelyanenko V.I., Overyanova L.V. Rabota bortovogo elektromekhanicheskogo inertsionnogo nakopitelya energii v tyagovom privode prigorodnogo elektropoezda [The operation of on-board electromechanical inertial energy storage in traction drive commuter trains]. *Zaliznychnyi transport Ukrainy – Railway transport of Ukraine*, 2015, issue 1, pp. 44–49.
63. Ryabov Ye.S. Opredeleniye parametrov nakopitelya energii dlya elektropodvizhnogo sostava s asinkhronnym tyagovym privodom v rezhime ograniicheniya toka tyagovoy seti [Defining the parameters of energy storage for electric rolling stock with asynchronous traction drive in traction network current limit]. *Visnyk Natsionalnogo tekhnichnogo universytetu «Kharkivskiy politekhnichnyi instytut»* [Bulletin of National technical University «Kharkiv Polytechnic Institute»], 2015, issue 6 (1115), pp. 132–137.
64. Overyanova L.V., Omelyanenko O.V., Novofastovskiy I.V. Modelirovaniye raboty inertsionnogo nakopitelya energii v sisteme tyagovogo privoda pri tormozhenii elektropoezda [Modeling of electromechanical inertial energy storage system of traction drive with electric braking]. *Visnyk Natsionalnogo tekhnichnogo universytetu «Kharkivskiy politekhnichnyi instytut»* [Bulletin of National technical University «Kharkiv Polytechnic Institute»], 2015, issue 18 (1127), pp. 115–119.

65. Severin V.P., Overyanova L.V., Omelyanenko O.V. Upravleniye potokom moshchnosti v tyagovom privode elektropoyezda pri pitanii ot kontaktnoy seti i inertsionnykh nakopiteley energii [Power flow control in electric traction drive, powered by the contact network and the inertial energy storage]. *Visnyk Natsionalnogo tekhnichnogo universytetu «Kharkivskiy politekhnichnyy instytut»* [Bulletin of National technical University «Kharkiv Polytechnic Institute»], 2015, issue 58 (1167), pp. 29–32.
66. Lyubarskiy B.G., Shayda V.P., Buryakovskiy S.G. Sravnitelnyy analiz nakopiteley energii dlya transportnykh sredstv [Comparative analysis of the energy storage devices for vehicles]. *Zaliznychnyi transport Ukrainy – Railway transport of Ukraine*, 2015, issue 6, pp. 13–21.
67. Zhemerov G.G., Ilna N.A., Tugay D.V. Sistemy elektrosnabzheniya metropolitena s sovremennymi poluprovodnikovymi preobrazovatelyami i nakopitelyami energii [Underground power systems with modern semiconductor converters and energy storage]. *Elektrotehnika i elektromekhanika – Electronics and electrical engineering*, 2013, issue 1, pp. 41–49.
68. Zhemerov G.G., Tugay D.V. Energiya i moshchnost v sistemakh elektrosnabzheniya s poluprovodnikovymi preobrazovatelyami i nakopitelyami energii [Energy and power supply systems with semiconductor converters and energy storage]. *Elektrotehnika i elektromekhanika – Electronics and electrical engineering*, 2014, issue 1, pp. 45–57.
69. Sokol Ye.I., Zhemerov G.G., Tugay D.V. Silovaya elektronika i kontseptsiya energetiki «SMART GRID» [Power electronics and power concept «SMART GRID»]. *Energoberezheniye. Energetika. Energoaudit – Energy saving. Energy. Energy audit*, 2013, special issue 8 (114), pp. 7–16.
70. Zhemerov G.G., Ilna N.A., Tugay D.V. Umensheniye poter energii v sistemakh elektrosnabzheniya podvizhnogo sostava metropolitena pri ispolzovanii energoemkikh nakopiteley elektroenergii [Reduction of energy losses in the rolling stock of underground power systems using energy-intensive electric drives]. *Tekhnichna elektrodynamika – Technical electrodynamics*, 2014, issue 5, pp. 137–138.
71. Kostin N.A., Nikitenko A.V. Avtonomnost rekuperativnogo tormozheniya – osnova nadezhnoy energoeffektivnoy rekuperatsii na elektropodvizhnom sostave postoyannogo toka [Autonomy of regenerative braking – the bases of reliable energy efficient recovery for electric rolling DC]. *Zaliznychnyi transport Ukrainy – Railway transport of Ukraine*, 2014, issue 3, pp. 15–23.
72. Sablin O.I., Kuznetsov V.G., Artemchuk V.V. Problemy ta perspektyvy efektyvnogo vykorystannia rekuperatsii elektroenergii v systemi elektrotransportu [Problems and prospects of recovery efficient use of electricity in the electric system]. *Optyko-elektronni informatsiyno-energetychni tekhnologii – Optoelectronic information-power technologies*, 2013, issue 2 (26), pp. 126–130.
73. Sablin O.I. Doslidzheniya efektyvnosti protsesu rekuperatsii elektroenergii v umovakh metropolitenu. [Research recovery efficiency of the electricity in underground conditions]. *Vostochno-Evropeyskiy zhurnal передовykh tekhnologiy – East European Journal of advanced technologies*, 2014, issue 8 (72), pp. 9–13.
74. Sablin O.I., Kuznetsov V.G., Bondar O.I., Artemchuk V.V. Modeliuvannia vzaemodii elektrorukhomogo skladu v rezhymy rekuperatsii elektroenergii [Modeling the interaction of electromotive recovery mode electricity]. *Elektryfikatsiya transportu – Electrification of transport*, 2014, issue 7, pp. 34–41.
75. Kuznetsov V.G., Sablin O.I., Gubskiy P.V., Kolykhaev Ye.G. Analiz rezervov energosberezheniya pri vnedrenii sistemy rekuperatsii energii na poyezdakh Dnepropetrovskogo metropolitena [Analysis of energy conservation reserves in the implementation of an energy recovery system on the Dnipropetrovsk subway trains]. *Girnycha elektromekhanika ta avtomatyka – Mining electrical engineering and automation*, 2015, issue 95, pp. 68–73.
76. Nikitenko A.V., Kostin M.O. Zbilshennia obemu rekuperovanoi elektroenergii na elektropoizdakh postiynogo strumu [Increasing the amount of recycled electric trains in DC]. *Zaliznychnyi transport Ukrainy – Railway transport of Ukraine*, 2015, issue 3, pp. 25–31.
77. Shevlyugin M.V. *Resurso- i energosberigayushchie tekhnologii na zheleznodorozhnom transporte i metropolitenakh, realizuemye s ispolzovaniem nakopiteley energii*. Avtoreferat Doct, Diss. [Resource and energy saving technologies on railway transport and subway systems that are implemented with the use of energy storage. Doct, Diss.]. Moscow, 2013. 49 p.
78. Shevlyugin M.V., Zheltov K.S. Snizheniye raskhoda elektroenergii na dvizheniye poyezdov v Moskovskom metropolitenе pri ispolzovanii emkostnykh nakopiteley energii [Reduced power consumption for the movement of trains in Moscow Metro using capacitive energy storage]. *NTT – Nauka i tekhnika transportu – NTT – Science and technology of transport*, 2008, issue 1, pp. 15–20.
79. Shevlyugin M.V. Povysheniye energeticheskikh pokazateley raboty sistemy tyagovogo elektrosnabzheniya zheleznykh dorog s pomoshchyu nakopiteley [Improving the energy performance of the traction power supply system of railways with the help of energy storage]. *NTT – Nauka i tekhnika transportu – NTT – Science and technology of transport*, 2007, issue 1, pp. 68–72.
80. Shevlyugin M.V. Energoberegayushchiye skhemy tyagovogo elektrosnabzheniya zheleznykh dorog na baze sverkhprovodnikovyykh induktivnykh nakopiteley energii [Energy-saving schemes traction power supply of railways on the basis of superconducting inductive energy storage]. *Elektrotehnika – Electrical engineering*, 2008, issue 7, pp. 28–34.
81. Shevlyugin M.V., Bader M.P., Bychkova M.P., Grichishnikov V.A. Vozmozhnost ispolzovaniya energii BPS na baze akkumulyatornykh batarey GIGACELL v sisteme tyagovogo elektrosnabzheniya Moskovskogo met-

ropolitena [The possibility of using the energy of the BPS on the basis of GIGACELL batteries in the traction electric supply system of the Moscow metro]. *Elektronika i elektrooborudovaniye transporta – Electronics and electrical transport*, 2010, issue 5-6, pp. 23–26.

82. Shevlyugin M.V. *Snizheniye raskhoda energii i rabochey moshchnosti osnovnogo silovogo oborudovaniya tyagovykh podstantsiy elektricheskikh zheleznykh dorog s pomoshchyu nakopiteley energii* [Reduced energy consumption and operating capacity of the main power equipment of electric traction substations of railways by means of energy storage]. Moscow, 2007. 151 p.

83. Shevlyugin M.V. Energoberezheniye na zheleznodorozhnom transporte s pomoshchyu sverkhprovodnikov ykh induktivnykh nakopiteley energii [Energy savings in rail transport by means of superconducting inductive energy storage]. *NTT – Nauka i tekhnika transportu – NTT – Science and technology of transport*, 2008, issue 2, pp. 67–70.

84. Cheremisin V.T., Nezevak V.L., Vilgelm A.S., Kvashchuk V.A. Vliyaniye rekuperativnogo tormozheniya na sistemu tyagovogo elektrosnabzheniya [Influence of regenerative braking on the traction power supply system]. *Lokomotiv – Locomotive*, 2013, issue 8, pp. 5–8.

85. Cheremisin V.T., Nikiforov M.M., Nezevak V.L. Vybory mest ustanovki nakopiteley elektroenergii na poligone postoyannogo toka po kriteriyu energoeffektivnosti [Selecting installation locations of electricity storage at the site of constant current of energy efficiency criteria]. *Nauka i transport. Modernizatsiya zheleznodorozhnogo transporta – Science and Transportation. Modernization of railway transport*, 2013, issue 2 (6), pp. 48–52.

86. Cheremisin V.T., Nezevak V.L., Shatokhin A.P. Povysheniye energeticheskoy effektivnosti sistemy tyagovogo elektrosnabzheniya v usloviyakh raboty postov sektiionirovaniya s nakopitelyami elektricheskoy energii [Improving the energy efficiency of the traction power supply system in the conditions of work posts partitioning drives with electric energy]. *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta – Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Engineering georesources*, 2015, issue 10, pp. 54–64.

87. Vilgelm A.S. *Povysheniye energeticheskoy effektivnosti rekuperativnogo tormozheniya na zheleznykh dorogakh postoyannogo toka* Avtoreferat Cand. Diss. [Improving the energy efficiency of regenerative braking on the railways DC. Cand. Diss.]. Omsk, 2013. 20 p.

88. Nezevak V., Cheremisin V., Shatokhin A. Evaluation of the Energy Efficiency of Energy Storage for Electric Rolling Stock of Railways DC. *International Journal of Advanced Railway*, 2013, V. 1, issue 2, pp. 53–56.

89. Shtang A.A. *Povysheniye effektivnosti elektrotransportnykh sistem na osnove ispolzovaniya nakopiteley energii* Avtoreferat Cand. Diss. [Improving the efficiency of electric transport systems based on the use of energy storage. Cand. Diss.]. Novosibirsk, 2006. 19 p.

90. Shchurov N.I., Shcheglov K.V., Shtang, A.A. Primeneniye nakopiteley energii v sistemakh elektricheskoy tyagi [The use of energy storage systems of electric traction]. *Zbornik nauchnykh trudov NGTU* [Proceedings of the NSTU], 2008, issue 1 (51), pp. 99–104.

91. Shtang A.A., Spiridonov Ye.A., Yaroslavl'tsev M.V. Primeneniye nakopiteley v sistemakh elektrosnabzheniya gorodskogo elektricheskogo transporta [The use of energy storage in the urban electric transport power systems]. *Transport Rossiyskoy Federatsii – Transport of the Russian Federation*, 2012, issue 3–4 (40–41), pp. 68–70.

92. Ulitin V.G. Problema ispolzovaniya izbytochnoy energii rekuperatsii na gorodskom elektricheskoy transporte [The problem of excessive use of energy recovery on the urban electric transport]. *Kommunalnoye khozyaystvo gorodov – Utilities cities*, 2009, issue 88, pp. 266–271.

93. Belozarov V.I., Stepanenko V.P. Aktualnost sozdaniya karyernykh lokomotivov s nakopitelem energii [Relevance of mining locomotives with energy storage]. *Gornaya promyshlennost – Mining*, 2014, issue 4, p. 76.

94. Stepanenko V.P. Primeneniye kombinirovannykh (gibridnykh) energosilovykh ustanovok v gornoy promyshlennosti [The use of combined (hybrid) energy-power plants in the mining industry]. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byuleten – Mining informational and analytical bulletin*, 2014, issue 11, pp. 322–328.

95. Stepanenko V.P., Belozarov V.I., Sorin L.N. Perspektivy primeneniya kombinirovannykh nakopiteley energii na karyernom zheleznodorozhnom transporte [Prospects for the use of combined energy storage on the career railways]. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byuleten – Mining informational and analytical bulletin*, 2015, issue 5, pp. 317–322.

96. Stepanenko V.P., Sorin L.N. Aktualnost resurso- i energoberezheniya podzemnykh rudnichnykh lokomotivov s kombinirovannymi nakopitelyami energii [The urgency of resource and energy saving underground mine locomotives with combined energy storage]. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byuleten – Mining informational and analytical bulletin*, 2015, issue 5, pp. 323–328.

97. Stepanenko V.P. Energoeffektivnost podzemnoy lokomotivnoy otkatki s gibridnymi nakopitelyami energii [Energy underground haulage locomotive with hybrid energy storage]. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byuleten – Mining informational and analytical bulletin*, 2015, issue 6, pp. 135–140.

98. Dominguez M., Cucala A.P., Fernández A., Pecharromán R.R., Blanquer J. Energy efficiency on train control: design of metro ATO driving and impact of energy accumulation devices. *9th World Congress on Railway Research (22.05–26.05.2011)*, 2011. pp. 1–12. Available at: http://www.vialibre-ffe.com/pdf/Dominguez_Maria.pdf. (Accessed 26 May 2016).

99. Li X., Lo H.K. An energy-efficient scheduling and speed control approach for metro rail operations. *Transportation Research*, 2014, Part B, issue 64, pp. 73–89.

100. Yang X., Chen A., Li X., Ning B., Tang T. An energy-efficient scheduling approach to improve the utilization of regenerative energy for metro systems. *Transportation Research*, 2015, Part C, issue 57, pp. 13–29.
101. Szeląg, A., Maciołek T., Drażek Z., Patoka M. Aspekty efektywności i energooszczędności w procesie modernizacji układów zasilania trakcji tramwajowej. *Pojazdy szynowe. Kwartalnik naukowo-techniczny poświęcony zagadnieniom konstrukcji, budowy i badań taboru szynowego*, 2011, issue 3, pp. 34–42.
102. Allègre A.-L., Bouscayrol A., Delarue P., Barrade P., Chattot E., El-Fassi S. Energy Storage System With Supercapacitor for an Innovative Subway. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 2010, Vol. 57, issue 12, pp. 4001–4012.
103. Barrero R., Tackoen X., Van Mierlo J. Improving energy efficiency in public transport: Stationary supercapacitor based Energy Storage Systems for a metro network. *Vehicle Power and Propulsion Conference*, 2008, pp. 1–8.
104. Barrero R., Tackoen X., Van Mierlo J. Energy saving in public transport: enhanced energy storage systems for improved on-board light vehicle efficiency. *IEEE Vehicular Tech. Magazin*, 2008, issue 3 (3), pp. 26–36.
105. Pavel D., Lubos S. The energy storage system with supercapacitor for public transport. *Vehicle Power and Propulsion Conference*, 2009, pp. 1826–1830.
106. Sevilla M., Mokaya R. Energy storage applications of activated carbons: supercapacitors and hydrogen storage. *Energy & Environmental Science*, 2014, Vol. 7, issue 4, pp. 1250–1280.
107. Konarzewski M., Niezdova T., Stankiewicz M., Szurgott P. Hybrid locomotives overview of construction solutions. *Journal of KONES Powertrain and Transport*, 2013, Vol. 20, issue 1, pp. 124–134.
108. Maruyama N. Stabilisierung der Fahrleitungsspannung mittels Schwungrad. *Elektrische Bahnen*, 1992, issue 4 (90), pp. 125–129.
109. Moninger F. Inertsionnyye nakopiteli energii v sistemakh tyagovogo elektrosnabzheniya [Inertial energy storage in traction systems power supply]. *Zheleznodorozhnye dorogi mira – Railway roads of the world*, 2000, issue 12, pp. 41–43.
110. Negishi H. Akkumulirovaniye energii na zheleznykh dorogakh [Energy storage on the railways]. *Zheleznodorozhnye dorogi mira – Railway roads of the world*, 2003, issue 6, pp. 55–59.
111. Rufer A., Hotellier D., Barrade P. Supercapacitor-based energy storage substation for voltage compensation in weak transportation networks. *IEEE Transactions on Power Delivery*, 2004, Vol. 19, issue 2, pp. 629–636.
112. Pulling N. Tram builders go to ground to find business. *Tramways and Urban Transit*, 2009, issue 72 (860), pp. 300–303.
113. Czerwiński A. New high-energy lead-acid battery with reticulated vitreous carbon as a carrier and current collector. *Journal of Power Sources*, 2012, issue 198, pp. 378–382.
114. Liu H., Jiang J. Flywheel energy storage—an upswing technology for energy sustainability. *Energy and Buildings*, 2007, issue 39 (5), pp. 599–604.
115. Flynn M., McMullen P., Solis O. Saving energy using flywheels. *IEEE Industry Applications Magazine*, 2008, issue 14 (6), pp. 69–76.
116. Iannuzzi D., Pagano E., Tricoli P. The use of energy storage systems for supporting the voltage needs of urban and suburban railway contact lines. *Energies*, 2013, issue 6 (4), pp. 1802–1820.
117. Ciccirelli F., Iannuzzi D., Lauria D. Stationary ultracapacitors storage device for improving energy saving and voltage profile of light transportation networks. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 2012, issue 21 (1), pp. 321–337.
118. Iannuzzi D., Lauria D., Tricoli P. Optimal Design of Stationary Supercapacitors Storage Devices for Light Electrical Transportation Systems. *Journal of Optimization and Engineering*, 2012, issue 13 (4), pp. 689–704.
119. Iannuzzi D., Tricoli P. Speed-based state-of-charge tracking control for metro trains with onboard supercapacitors. *IEEE Trans. Power Electron*, 2012, issue 27 (3-4), pp. 2129–2140.
120. Shimada M., Oishi R., Araki D. Energy storage system for effective use of regenerative energy in electrified railways. *Hitachi Review*, 2010, issue 59 (1), pp. 33–38.
121. Ciccirelli F., Iannuzzi D., Tricoli P. Control of metro-trains equipped with onboard supercapacitors for energy saving and reduction of power peak demand. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 2012, issue 24, pp. 36–49.
122. Sekijima Y., Inui M., Aoyama I. Development of an energy storage system for DC electric rolling stock by applying electric double layer capacitors. *Japanese Railway Engineering*, 2005, issue 156, pp. 35–41.