

А.О. Сулим*

Державне підприємство «Український науково-дослідний інститут вагонобудування»
вул. І. Приходька, 33, м. Кременчук, Полтавська обл., 39621, Україна
Телефон: +380 536(6) 60354, E-mail: sulim1.ua@gmail.com
ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-8144-8971>

О.О. Мельник

Державне підприємство «Український науково-дослідний інститут вагонобудування»
вул. І. Приходька, 33, м. Кременчук, Полтавська обл., 39621, Україна
Телефон: +380 536(6) 62043, E-mail: om.oleksandrmelnyk@gmail.com
ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-8964-4790>

**ФОРМУВАННЯ КОНЦЕПТУАЛЬНИХ ВИМОГ ДО СИСТЕМИ
КЕРУВАННЯ ЕНЕРГООБМІННИМИ ПРОЦЕСАМИ НА ПОЇЗДІ
МЕТРОПОЛІТЕНУ З ЄМНІСНИМИ НАКОПИЧУВАЧАМИ ЕНЕРГІЇ**

В статті визначено основні проблемні та маловивчені питання за умов впровадження на рухомому складі метрополітену накопичувачів енергії. Встановлено, що одним із актуальних питань є розробка ефективної системи керування енергообмінними процесами між бортовими ємнісними накопичувачами енергії, тяговим обладнанням та контактною мережею як в штатних, так і аварійних режимах роботи системи енергозабезпечення метрополітену. В цій роботі запропоновано розглянути початковий етап створення системи керування енергообмінними процесами, а саме формування вимог до параметрів та функціонування цієї системи. Встановлено вимоги до параметрів та характеристик системи керування енергообмінними процесами на поїзді метрополітену з ємнісними накопичувачами енергії. Описано основні вимоги до функціональних можливостей системи керування енергообмінними процесами. Сформульовано основний концепт роботи системи, який полягає у адаптивності і здатності в автоматичному режимі відслідковувати ступінь заряду та розряду бортового ємнісного накопичувача, а також здійснювати ефективне керування енергією незалежно від режиму роботи системи енергозабезпечення метрополітену та характеру протікання енергетичних процесів в контактній мережі. Запропоновано сформульовані вимоги рекомендувати як базис під час розробки загальних технічних вимог до таких систем. Подальші дослідження необхідно зосередити на розробці технічного рішення системи керування енергообмінними процесами для поїзда метрополітену з ємнісними накопичувачами енергії згідно встановлених вимог.

© Сулим А.О., Мельник О.О., 2022

Ключові слова: енергообмін, ємнісний накопичувач енергії, поїзд, система керування.

А.А. Сулим*

Государственное предприятие «Украинский научно-исследовательский институт вагоностроения»

ул. И. Приходько, 33, г. Кременчуг, Полтавская обл., 39621, Украина

Телефон: +38 0536(6) 60354, E-mail: sulim1.ua@gmail.com

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-8144-8971>

А.А. Мельник

Государственное предприятие «Украинский научно-исследовательский институт вагоностроения»

ул. И. Приходько, 33, г. Кременчуг, Полтавская обл., 39621, Украина

Телефон: +38 0536(6) 62043, E-mail: om.oleksandrmelnyk@gmail.com

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-8964-4790>

ФОРМИРОВАНИЕ КОНЦЕПТУАЛЬНЫХ ТРЕБОВАНИЙ К СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ ЭНЕРГООБМЕННЫМИ ПРОЦЕССАМИ НА ПОЕЗДЕ МЕТРОПОЛИТЕНА С ЁМКОСТНЫМИ НАКОПИТЕЛЯМИ ЭНЕРГИИ

В статье определены основные проблемные и малоизученные вопросы при внедрении на подвижном составе метрополитена накопителей энергии. Установлено, что одним из актуальных вопросов является разработка эффективной системы управления энергообменными процессами между бортовыми ёмкостными накопителями энергии, тяговым оборудованием и контактной сетью как в штатных, так и аварийных режимах работы системы энергообеспечения метрополитена. В этой работе предложено рассмотреть начальный этап создания системы управления энергообменными процессами, а именно формирование требований к параметрам и функционированию этой системы. Установлены требования к параметрам и характеристикам системы управления энергообменными процессами на поезде метрополитена с ёмкостными накопителями энергии. Описаны основные требования к функциональным возможностям системы управления энергообменными процессами. Сформулирован основной концепт работы системы, который заключается в адаптивности и способности в автоматическом режиме отслеживать степень заряда и разряда бортового ёмкостного накопителя, а также совершать эффективное управление энергией независимо от режима работы системы энергообеспечения метрополитена и характера протекания энергетических процессов в контактной сети. Предложено сформулированные требования рекомендовать в качестве базиса при разработке общих технических требований к таким системам. Дальнейшие исследования необходимо сосредоточить на разработке технического решения системы управления энергообменными процессами для поезда метрополитена с ёмкостными накопителями энергии соответственно

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

установленних потребаний.

Ключевые слова: энергообмен, ёмкостной накопитель энергии, поезд, система управления.

Вступ. Одним із перспективних шляхів підвищення ефективності використання електроенергії рекуперативного гальмування поїздів та поліпшення енергоресурсозбереження в метрополітені є впровадження бортових систем накопичення. За умов впровадження цих систем на поїздах метрополітену важливим є вирішення цілого ряду задач, а саме:

- дослідження резервів енергозбереження на поїзді метрополітену з системами рекуперації за рахунок впровадження накопичувачів енергії;
- обґрунтування застосування раціонального типу накопичувача в системі енергозабезпечення метрополітену;
- визначення необхідних параметрів накопичувачів енергії для поїзда метрополітену з урахуванням реальних умов його експлуатації;
- розробка комплексного підходу щодо визначення раціональних параметрів накопичувачів (насамперед, потужності та енергоємності) для поїзда метрополітену при заданих умовах його експлуатації;
- оцінка підвищення енергоефективності на поїзді метрополітену за рахунок впровадження накопичувача з раціональними параметрами;
- теоретичні та експериментальні дослідження енергопроцесів в системі енергозабезпечення метрополітену при впровадженні накопичувачів енергії з раціональними параметрами;
- розробка ефективної системи керування енергообмінними процесами на поїзді метрополітену з бортовими ємнісними накопичувачами енергії;
- 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 показники поїзда метрополітену;
- пошук та розробка нових режимів функціонування системи енергозабезпечення метрополітену з накопичувачами енергії, при яких забезпечується мінімізація спожитої електроенергії з мережі та підвищення ефективності використання електроенергії рекуперативного гальмування;
- дослідження надійності роботи систем напрацювання з бортовими накопичувачами енергії (ресурс, напрацювання на відмову тощо);
- створення концептуального проекту енергоефективного поїзда метрополітену за умов впровадження на ньому накопичувачів енергії з раціональними параметрами.

Аналіз останніх досліджень та постановка проблеми. За результатами аналізу існуючих досліджень в напрямку впровадження бортових накопичувачів енергії на поїзді метрополітену можна зробити висновок, що деякі з сформульованих задач отримали вирішення та їх розглянуто в достатньому об'ємі. Це перш за все задачі, пов'язані з оцінкою кількості заощадженої енергії за рахунок впровадження накопичувачів енергії на поїзді метрополітену, обґрунтування застосування раціонального типу накопичувача та місця його розміщення в системі енергозабезпечення, вибором пристрою для керування енергообмінними

процесами, визначення необхідних параметрів ємнісних накопичувачів енергії для поїзда метрополітену.

Зазначена теза підтверджується результатами розгляду та аналізу численних досліджень за цими напрямками [1–22]. Так, за результатами аналізу робіт [1–6] встановлено, що завдяки впровадженню накопичувачів енергії на борту поїзда метрополітену існують резерви заощаджень електроенергії до 52 %. Аналіз праць [7–12] дозволив визначити, що в метрополітені найбільш раціональним є використання бортових ємнісних накопичувачів енергії. Аналіз існуючих технічних рішень для реалізації керування енергообмінними процесами дозволив встановити, що найбільш раціональним та енергоефективним пристроєм для керування процесами заряду та розряду бортових ємнісних накопичувачів енергії на електрорухомому складі є статичний реверсивний перетворювач регульованого типу з індуктивними або ємнісними дозаторами електроенергії [13–15]. Дослідження в роботах [16–22] дозволили визначити необхідні параметри бортових ємнісних накопичувачів енергії для поїздів метрополітену.

Інша частина перелічених задач залишаються не розглянутими в повному обсязі та потребує вирішення в подальшому. Однією з таких важливих і актуальних задач є розробка системи керування енергообмінними процесами на поїзді метрополітену з бортовими ємнісними накопичувачами енергії, здатної здійснювати ефективний енергообмін між тяговим обладнанням, бортовим ємнісним накопичувачем енергії, контактною мережею як в штатних, так і аварійних режимах роботи системи енергозабезпечення метрополітену. Слід зазначити, що впровадження системи дозволить підвищити безпеку руху, поліпшити комфорт пасажирів та їх обслуговування, підвищити енергоефективність як в метрополітені в цілому, так і самого поїзда зокрема. Тому в цій роботі запропоновано більш детально зупинитись на цьому питанні.

Мета цієї статті полягає у формуванні концептуальних вимог до системи керування енергообмінними процесами на поїзді метрополітену з ємнісними накопичувачами енергії.

Матеріал та результати досліджень. На сьогоднішній день в Україні поїзди метрополітену мають проектуватись та виготовлятись згідно вимог, які встановлено в нормативних документах [23, 24], а також правилах та інструкціях [25–27]. Однак ці нормативні документи не містять вимог до систем керування енергообмінними процесами для поїздів метрополітену з бортовими ємнісними накопичувачами енергії. Це пояснюється тим, що на даний час у вітчизняних метрополітенах інноваційні поїзди з бортовими ємнісними накопичувачами відсутні, незважаючи на наявність значної кількості теоретичних досліджень в цьому напрямку. Отже, враховуючи накопичений досвід вітчизняних і іноземних науковців в напрямку проектування та виготовлення поїздів метрополітену з бортовими накопичувачами енергії, а також особливостей існуючих вимог до вітчизняних поїздів метрополітену, сформовано загальні технічні вимоги до системи керування енергообмінними процесами, які наведено в табл. 1.

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

Таблиця 1. - Загальні технічні вимоги до системи керування енергообмінними процесами на поїзді метрополітену з бортовими ємнісними накопичувачами енергії

№ п/п	Назва параметра (характеристики)	Вимоги до параметру (характеристики)
1	2	3
1	Напруга живлення системи керування, В	56...100
2	Номінальна напруга живлення системи керування, В	80±4
3	Рівень пульсації вхідної напруги, %	≤ 4
4	Потужність споживання системи керування при номінальній напрузі 80 В, Вт	≤ 50
5	Час роботи системи за умов відключення від основного джерела живлення, год	≥ 5
6	Термін служби, років	≥ 31
7	Діапазон робочих температур, °С	-40...+50
8	Ступінь захисту оболонки (корпусу) системи керування	≥ IP 54 згідно [28]
9	Ступінь захисту корпусів електричних роз'ємів	≥ IP 65 згідно [28]
10	Матеріали та елементи, які застосовані в системі керування	згідно вимог [29, 30, 31]
11	Кліматичне виконання системи керування	«У», категорія 1.1 згідно вимог [32]
12	Обладнання системи керування в частині стійкості до зовнішніх механічних факторів	Згідно вимог [33] за групою М25
13	Вільний доступ до елементів системи для виконання регламентних робіт з обслуговування та ремонту	Має забезпечуватись
14	Стабільна передача даних сигналів керування та виключення впливу зовнішніх електромагнітних завад на систему керування	Має забезпечуватись
15	Рівні радіозавад та завад на колійні пристрої, створюваних системою керування	Не повинні перевищувати значень, встановлених у вимогах [34, 35]
16	Інтеграція системи керування у загальну систему управління поїздом та моніторингу (система вищого рівня)	Має забезпечуватись
17	Проводи та кабелі системи керування	Мають бути екрановані, мати захист та ізоляцію, відповідати чинним вимогам пожежної безпеки
18	Ізоляція проводів та кабелів	Не має поширювати горіння згідно вимог [36, 37], морозостійка, термостійка, стійка до нафтопродуктів

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

Закінчення табл. 1

1	2	3
19	Опір ізоляції струмоведучих частин (сухих і чистих) системи керування	Згідно вимог [23, 31]
20	Міцність ізоляції струмоведучих частин (сухих і чистих) системи керування	Згідно вимог [31]
21	Захист від перевантажень та коротких замикань	Має бути селективним і автоматичним, ефективно спрацьовувати незалежно від швидкостей руху поїзда та напруги живлення
22	Заземлення доступних дотику металевих неструмоведучих частин системи керування	Має бути згідно вимог [38, 39]
23	Перехідний опір перемички захисного заземлення, Ом	$\leq 0,01$
24	Величина напрацювання на відмову, викликана несправностями, в результаті яких систему необхідно демонтувати та направити в неплановий ремонт, км пробігу	$\geq 80000 \pm 1000$
25	Контрольний роз'єм для підключення тестового обладнання	Має бути в наявності
26	Захист від несанкціонованого доступу до системи керування	Має забезпечуватись

Система керування енергообмінними процесами (далі – система керування) на поїзді метрополітену з бортовими ємнісними накопичувачами енергії – мікрокомп'ютерна система керування, яка засновується на напівпровідникових технологіях, програмному забезпеченні та передачі даних. Система керування має забезпечувати:

- роботоздатність за різних навантажень, що відповідають умовам експлуатації поїзда та його окремих систем та вузлів;

- ефективне керування енергообміном між бортовими ємнісними накопичувачами енергії, тяговим обладнанням та контактною мережею як в штатних, так і аварійних режимах роботи системи енергозабезпечення метрополітену;

- виконання функцій моніторингу, виявлення поломок і реєстрації, приймання сигналів з датчиків, їх обробку, визначення енергетичних показників, передачу даних до системи керування поїзда та моніторингу (системи вищого рівня), фіксування та зберігання даних, самодіагностики, редагування, а також керування напівпровідниковими пристроями;

- моніторинг наступних систем та обладнання під час включення: бортового ємнісного накопичувача енергії, статичного реверсивного перетворювача для керування процесами заряду і розряду накопичувача, тягового обладнання (тягових двигунів, перетворювачів, гальмівної системи тощо);

- виявлення поломок або помилок і їх реєстрації за результатами процесу моніторингу систем (у випадку серйозної поломки або помилки система має

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

виводити інформацію та повідомлення про дану поломку або помилку до системи вищого рівня);

– отримання, аналізування та оброблення в режимі реального часу наступних сигналів: напруги контактної мережі, струмів споживання (рекуперації) кожного вагона, фактичної швидкості руху, завантаженості поїзда, рівня завдання сили тяги і гальмування, струмів та напруг в колах ємнісних накопичувачів енергії, струмів та напруг в колах кожного тягового двигуна, струмів та напруг в колах гальмівного резистора, температури навколишнього середовища, температури нагріву корпусів ємнісних накопичувачів, статичних перетворювачів, тягових двигунів, температури нагріву обмоток тягових двигунів*;

– визначення (облік) спожитої з контактної мережі, рекуперованої до контактної мережі, розсіяної на гальмівних резисторах, спожитої з накопичувачів, рекуперованої в накопичувачі електроенергії поїздом та кожним тяговим вагоном і передача цих даних до системи вищого рівня*;

– зберігання протягом 7 днів наступної інформації: дати та часу, поломки обладнання, перелічених вище показників за результатами їх отримання з датчиків та визначення в процесі обробки*;

– зручне зняття та запис зареєстрованої інформації на зовнішній носій (Flash-пам'ять);

– самодіагностику шляхом перевірки сигналів взаємодії та пам'яті системи на етапах її включення і функціонування;

– редагування за допомогою переносного спеціалізованого пристрою даних оновлення програмного забезпечення, інформації про усунення помилки, редагування назви помилки;

– ефективне керування силовими ключами перетворювачів та комутаторами незалежно від режимів руху поїзда та енергетичних процесів в контактній мережі;

– врахування технічних характеристик тягового обладнання, перетворювачів та бортових ємнісних накопичувачів енергії (характер зміни напруги та струму залежно від енергоємності) під час протікання енергообмінних процесів;

– заряд бортового ємнісного накопичувача енергії до заданої величини енергоємності в режимі рекуперативного гальмування поїзда та його розряд до мінімально встановленої програмно та «мертвої»** величини енергоємності під час руху в режимі тяги за штатних та аварійних умов роботи системи енергозабезпечення метрополітену відповідно;

– можливість програмного налаштування пріоритетності направлення енергії рекуперації на заряд бортового ємнісного накопичувача або до контактної мережі під час штатної роботи системи енергозабезпечення метрополітену та ведення поїзда в режимі рекуперативного гальмування за умови неповного заряду накопичувача;

– генерацію енергії рекуперативного гальмування до контактної мережі для живлення інших споживачів у разі повного заряду накопичувача до заданої величини енергоємності під час штатної роботи системи енергозабезпечення метрополітену;

– розсіювання енергії рекуперативного гальмування на гальмівному резисторі за відсутності споживачів в контактній мережі за умов повного заряду бортового ємнісного накопичувача до заданої величини енергоємності під час штатної роботи системи енергозабезпечення метрополітену;

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

– можливість програмного налаштування пріоритетності направлення накопиченої енергії рекуперативного гальмування в бортовому ємнісному накопичувачі на живлення тягового обладнання або до контактної мережі під час штатної роботи системи енергозабезпечення метрополітену та ведення поїзда в режимі тяги за умови неповного розряду накопичувача;

– живлення тягового обладнання від контактної мережі під час штатної роботи системи енергозабезпечення метрополітену та ведення поїзда в режимі тяги за умови повного розряду бортового ємнісного накопичувача;

– відключення живлення поїзда від контактної мережі в автоматичному режимі в момент виникнення аварійної ситуації в системі енергозабезпечення метрополітену (зняття живлення в контактній мережі), що унеможливить живлення інших споживачів від бортового ємнісного накопичувача енергії;

– направлення накопиченої енергії від бортового ємнісного накопичувача енергії тільки на живлення тягового обладнання поїзда під час аварійної роботи системи енергозабезпечення метрополітену та ведення поїзда в режимі тяги;

– можливість відключення окремих кіл з бортовими ємнісними накопичувачами та тяговим обладнанням через наявність в цих колах серйозної помилки з відповідним записом та передачею даних про помилку в систему вищого рівня.

Примітка. *Об'єм інформації, який отримує, аналізує, обробляє, визначає та зберігає система керування має бути остаточно погоджений з вітчизняними метрополітенами на стадії впровадження цих систем.

**«Мертва» величина енергоємності – це мінімальне значення енергоємності, до якої можливий процес розряду ємнісного накопичувача енергії, встановлений заводом-виробником.

Враховуючи сформовані вимоги до параметрів та функціональних можливостей системи керування, основний концепт цієї системи має полягати у адаптивності і здатності в автоматичному режимі відслідковувати ступінь заряду та розряду бортового ємнісного накопичувача, а також здійснювати ефективне керування енергією незалежно від режиму ведення поїзда, роботи системи енергозабезпечення метрополітену та характеру протікання енергетичних процесів в контактній мережі.

Висновки.

1. Сформовано загальні технічні вимоги до параметрів (характеристик) системи керування енергообмінними процесами на поїзді метрополітену з бортовими ємнісними накопичувачами енергії. Дані вимоги мають довідковий характер, проте їх можливо рекомендувати в якості базису під час розробки нормативно-технічної документації до таких систем.

2. Визначено основні вимоги до функціональних можливостей та режимів роботи, які має забезпечувати система керування енергообмінними процесами на поїзді метрополітену з бортовими ємнісними накопичувачами енергії, що дозволить підвищити безпеку руху, поліпшити комфорт пасажирів та їх обслуговування, підвищити енергоефективність як в метрополітені в цілому, так і самого поїзда зокрема.

3. Сформульовано основний концепт системи керування енергообмінними процесами на поїзді метрополітену з бортовими ємнісними накопичувачами енергії, який полягає у здійсненні ефективного енергообміну в автоматичному режимі не-

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

залежно від режиму ведення поїзда, роботи системи енергозабезпечення метрополітену та характеру протікання енергетичних процесів в контактній мережі.

Рекомендації.

В подальшому потрібно зосередити зусилля на проектування та виготовлення дослідного зразка системи керування енергообмінними процесами для поїзда метрополітену з бортовими ємнісними накопичувачами енергії згідно встановлених вимог, які рекомендовані в цій роботі.

ЛІТЕРАТУРА

1. Саблін О.І. Дослідження ефективності процесу рекуперації електроенергії в умовах метрополітену. *Восточно-Европейский журнал передовых технологий*. 2014. Вип. 8 (72) /том 6/. С. 9–13. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2014.30483>
2. Кузнецов В.Г., Саблин О.И., Губский П.В., Кольхаев Е.Г. Анализ резервов энергосбережения при внедрении системы рекуперации энергии на поездах Днепропетровского метрополитена. *Гірничка електромеханіка та автоматика: наук.-техн. зб. Нац. гірничого ун-ту. Д., 2015. № 95. С. 68–73.*
3. Сулим А.О., Третяк Е.В., Хозя П.О., Мельник О.О., Мужичук С.О. Оцінка резервів енергозбереження під час штатних умов експлуатації рухомого складу метрополітену з системами рекуперації. *Електромеханічні і енергозберігаючі системи*. 2019. № 3(47). С. 66–77. DOI: <https://doi.org/10.30929/2072-2052.2019.3.47.66-77>
4. Сулим А.О., Мужичук С.О., Хозя П.О., Мельник О.О., Федоров В.В. Дослідження енергообмінних процесів під час штатних умов експлуатації рухомого складу метрополітену з системами рекуперації. *Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна*. 2017. № 5 (71). С. 28–47. DOI: <https://doi.org/10.15802/stp2017/112934>
5. Шевлюгин М.В., Желтов К.С. Снижение расхода электроэнергии на движение поездов в Московском метрополитене при использовании емкостных накопителей энергии. *НТТ – Наука и техника транспорта*. 2008. № 1. С. 15–20.
6. Жемеров Г.Г., Ильина Н.А., Тугай Д.В. Уменьшение потерь энергии в системах электроснабжения подвижного состава метрополитена при использовании энергоемких накопителей электроэнергии. *Технічна електродинаміка*. 2014. № 5. С. 137–138.
7. Жемеров Г.Г., Тугай Д.В. Энергия и мощность в системах электроснабжения с полупроводниковыми преобразователями и накопителями энергии. *Електротехніка і електромеханіка. Х.:* 2014. № 1. С. 45–57.
8. Сулим А.А., Хозя П.А. Обоснование необходимости использования емкостных накопителей энергии на подвижном составе метрополитена. *Modern Science–Moderní věda. Praha, Česka Republika*, 2017. №7. С. 9–19.
9. 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*. Vol. 57. Issue 12. 2010. P. 4001–4012.
10. Iannuzzi D., Tricoli P. Speed-based state-of-charge tracking control for metro trains with onboard supercapacitors. *IEEE Trans. Power Electron*. 2012. № 27 (3-4). P. 2129–2140.
11. Ciccarelli 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. № 24. P. 36–49.
12. Szênásy I. New energy management of capacitive energy storage in metro railcar by simulation. *Acta Technica Jaurinensis*. 2009. Vol. 2. № 1. P. 117–131.
13. Елисеев А.Д., Фурсов С.А. Суперконденсаторы Nesscap повышают энергоэффективность электроприводов. *Электронные компоненты*. 2015. № 2. С. 84–87.
14. Афанасов А.М., Арпуть С.В., Демчук Р.Н. Пусковые режимы автономного электропоезда с бортовым накопителем энергии. *Електромагнітна сумісність та безпека на залізничному транспорті*. 2016. № 11. С. 18–23.
15. Sulym A., Lomonos A., Bialobrzheskyi O., Safronov O., Khozia P. Analysis of technical solutions for the implementation of on-board energy storage on the electric stock. *Naukovyi Visnyk Natsionalnogo Hirnychogo Universytetu*. 2020. № 3. P. 59-66. DOI: <https://doi.org/10.33271/nvngu/2020-3/059>

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

16. Рябцев Г.Г., Ермаков И.А., Рубичев Н.А. Расчет конденсаторных накопителей энергии для вагонов метрополитена. *Электротехника*. 2011. № 8. С. 15–19.
17. Sulym A., Fomin O., Khozia P., Mastepan A. Theoretical and practical determination of parameters of On-board capacitive energy storage of the rolling stock. *Naukovyi Visnyk Natsionalnogo Hirnychoho Universytetu*. 2018. №5. P. 79–87. DOI: <https://doi.org/10.29202/nvngu/2018-5/8>.
18. Рябов Е.С. Определение параметров накопителя энергии для электроподвижного состава с асинхронным тяговым приводом в режиме ограничения тока тяговой сети. *Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут»*. 2015. № 6 (1115). С. 132–137.
19. Мятёж А.В., Ярославцев М.В. Определение энергоёмкости бортового буферного конденсаторного накопителя энергии для городского электрического транспорта. *Транспорт Российской Федерации. Электроснабжение и электротехника*. 2013. № 4 (47). С. 62–65.
20. Kostin M.O., Mukha A.M., Sheikina O.H., Kurylenko O.Y. Determination of energy and electric capacity of on-board supercapacitor regenerative energy storage. *Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна*. 2021. №2 (92). P. 29–39. DOI: <https://doi.org/10.15802/stp2021/237500>
21. Fomin O., Sulym A., Kulbovskiy I., Khozia P., Ishchenko V. Determiningrational parameters of the capacitive energy storage system for the underground railway rolling stock. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2018. Issue 2 (92). P. 63–71. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.126080>
22. Yatsko S., Sidorenko A., Vashchenko Ya., Lyubarskyi B., Yeritsyan B. (2013). Method to improve the efficiency of the traction rolling stock with onboard energy storage. *International journal of renewable energy research*. 2019. Vol. 9. No. 2. P. 848–858.
23. СОУ МПП 45.060-253:2008 Вагони метрополітену. Загальні технічні вимоги. [Чинний від 2010-01-01] Вид. офіц. Київ: Міністерство промислової політики України. 2008. 29 с.
24. ГСТУ 3-017-2001. Вагони метрополітенів. Методи та технічні норми для розрахунку і проектування механічної частини вагонів. [Чинний від 2012-01-01 зі зміною 1 згідно наказу Мінпромполітики України від 27.10.2011 р. № 296]. Вид. офіц. Київ: Державний комітет промислової політики України. 2001. 206 с.
25. Правила технічної експлуатації метрополітенів України, затверджених Наказом Міністерства транспорту України 04.11.2003 р. № 854 (у редакції наказу Міністерства інфраструктури України 12.11.2014 № 578) [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1540-14#n17>.
26. Інструкція з руху поїздів і маневрової роботи на метрополітенах України, затвердженої Наказом Міністерства транспорту України 04.11.2003р. № 854 (у редакції наказу Міністерства інфраструктури України 07.11.2017 № 373) [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1449-17#n4>
27. Інструкція із сигналізації на метрополітенах України, затвердженої Наказом Міністерства транспорту України 04.11.2003 р. № 854 (у редакції наказу Міністерства інфраструктури України 07.11.2017 № 373) [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0590-04#n1543>
28. ДСТУ EN 60529:2014 (EN 60529:1992, EN 60529:1992/A1:2000, EN 60529:1992/A2:2013, EN 60529:1992/AC:1993, IDT) Ступені захисту, що забезпечують кожухи (Код IP). [Чинний від 2016-01-01] Вид. офіц. Київ: Міністерство економічного розвитку і торгівлі України. 2016. 59 с.
29. Гранично допустимі концентрації хімічних і біологічних речовин в атмосферному повітрі населених місць. Гігієнічні регламенти. Затверджено Наказом Міністерства охорони здоров'я України 14.01.2020 р. № 52. Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0156-20#Text>
30. Правила пожежної безпеки в Україні. Затверджено Наказом Міністерства внутрішніх справ України 30.12.2014 р. № 1417. Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0252-15#Text>
31. ДСТУ 2773-94 (ГОСТ 9219-95) Апарати електричні тягові. Загальні технічні вимоги. [Чинний від 1995-07-01] Вид. офіц. Київ: Держстандарт України. 1996. 77 с.
32. ГОСТ 15150-69 Машины, приборы и другие технические изделия. Исполнения для различных климатических районов. Категории, условия эксплуатации, хранения и транспортирования в части воздействия климатических факторов внешней среды [Действующий от 1971-01-01] Вид. офіц. Москва: Государственный комитет СССР по стандартам. 1971. 84 с.
33. ГОСТ 17516.1-90 Изделия электротехнические. Общие требования в части стойкости к механическим внешним воздействующим факторам. [Действующий от 1991-01-01] Издание официальное: Москва, Издательство стандартов. 1990. 38 с.
34. ДСТУ EN 50121-3-1:2018 (EN 50121-3-1:2017, IDT) Залізничний транспорт. Електромагнітна сумісність. Частина 3-1. Рухомий склад. Поїзд та комплектний транспортний засіб. [Чинний від 2018-01-01] Вид. офіц. Київ: ДП «УкрНДНЦ». 2018. 8 с.

35. ДСТУ EN 50121-4:2018 (EN 50121-4:2016, IDT) / Зміна № 1:2019 (EN 50121-4:2016/A1:2019, IDT) Залізничний транспорт. Електромагнітна сумісність. Частина 4. Емісія та несприйнятливість сигнальної та телекомунікаційної апаратури. [Чинний від 2018-01-01] Вид. офіц. Київ: ДП «УкрНДНЦ». 2018. 18 с.

36. ДСТУ 4809-2007 Ізольовані проводи та кабелі. Вимоги пожежної безпеки та методи випробування. [Чинний від 2008-01-01] Вид. офіц. Київ Держспоживстандарт України. 2007. 19 с.

37. ГОСТ 12176-89 Кабели, провода и шнуры. Методы проверки на нераспространение горения. [Действующий от 1990-07-01] Издание официальное: Москва, Государственный комитет СССР по управлению качеством продукции и стандартам. 1990. 4 с.

38. ДСТУ EN ISO 7010:2019 (EN ISO 7010:2012; A1:2014; A2:2014; A3:2014; A4:2014; A5:2015; A6:2016; A7:2017, IDT; ISO 7010:2011; Amd 1:2012; Amd 2:2012; Amd 3:2012; Amd 4:2013; Amd 5:2014; Amd 6:2014; Amd 7:2016, IDT) Графічні символи. Кольори та знаки безпеки. Зареєстровані знаки безпеки. [Чинний від 2020-07-01] Вид. офіц. Київ: ДП «УкрНДНЦ». 2020. 137 с.

39. Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів. Київ: «Основа». 2007. 384 с. ISBN 978-966-699-204-1.

A.O. Sulym

State Enterprise «Ukrainian Scientific Railway Car Building Research Institute»,

33 I. Prykhodka St., Kremenchuk, 39621, Ukraine

Tel.: +380 536(6) 60354, E-mail: sulim1.ua@gmail.com

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-8144-8971>

O.O. Melnyk

State Enterprise «Ukrainian Scientific Railway Car Building Research Institute»

Tel.: +380 536(6) 62043, E-mail: om.oleksandrmelnyk@gmail.com

33 I. Prykhodka St., Kremenchuk, 39621, Ukraine

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-8964-4790>

FORMATION OF CONCEPT-BASED REQUIREMENTS FOR THE CONTROL SYSTEM OF ENERGY EXCHANGE PROCESSES OF THE METRO TRAIN WITH CAPACITOR ENERGY STORAGE

The article deals with the main challenging and poorly studied issues in terms of introduction of capacitor storages in the metro rolling stock. It is established that one of the urgent issues is the development of an effective control system for energy exchange processes between onboard capacitive energy storage, traction equipment and catenary under both normal and emergency operation modes of metro power supply system. In this paper, it is proposed to consider the initial stage of developing a control system for energy exchange processes, namely the formation of requirements for the parameters and operation of this system. The requirements to the parameters and characteristics of the control system of energy exchange processes on the metro train with capacitive energy storage devices are established. The main requirements to the functional capabilities of the control system of energy exchange processes are described. The basic concept of the system, which consists in adaptability and ability to automatically monitor the degree of charge and discharge of the onboard capacitive storage, as well as to perform efficient energy management regardless of the mode of operation of the subway energy supply system and the nature of energy processes in the catenary is formulated.

The outlined requirements are recommended as a basis for the development of general technical requirements for such systems. Further research should focus on the development of a technical solution for the control system of energy exchange processes for the metro train with capacitive energy storage according to the set out requirements.

Key words: energy exchange, capacitor energy storage, train, control system.

REFERENCES

1. Sablin, O.I. (2014). Study of the efficiency of the electric energy recovery process in the subway. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6(8(72)), pp. 9–13. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2014.30483>.
2. Kuznetsov, V.G., Sablin, O.I., Gubskiy, P.V., Kolykhaev, Ye.G. (2015). Analiz rezervov energosberezheniya pri vnedrenii sistemy rekuperatsii energii na poezdakh Dnepropetrovskogo metropolitena [Analysis of energy saving reserves during the introduction of energy recovery system on trains of the Dnepropetrovsk metro]. *Hirnychna elektromekhanika ta avtomatyka: naukovo-tekhnichnyi zbirnyk Natsionalnoho hirnychoho universyteyutu - Mining electromechanics and automation: Scientific and technical journal of National Mining University*, 95, pp. 68–73 [in Russian]
3. Sulym, A.O., Tretiak, E.V., Khozia, P.O., Melnyk, O.O., Muzhichuk, S.O. (2019). Estimation of energy saving reserves under normal operating conditions of metro rolling stock with recovery systems. *Electromechanical and energy saving systems*, 3(47), pp. 66–77. DOI: <https://doi.org/10.30929/2072-2052.2019.3.47.66-77>
4. Sulym, A. O., Muzhychuk, S. O., Khozya, P. O., Melnyk, O. O., Fedorov, V. V. (2017). Study on energy exchange processes in normal operation of metro rolling stock with regenerative braking systems. *Science and Transport Progress. Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport*, 5(71), pp. 28–47. DOI: <https://doi.org/10.15802/stp2017/112934>
5. Shevlyugin, M.V., Zheltov, K.S. (2008). Snizhenie rashoda elektroenergii na dvizhenie poezdov v Moskovskom metropolitene pri ispolzovanii emkostnykh nakopiteley energii. [Reduction of the expense of the electric power for movement of trains in the Moscow subway at use of capacitive energy storages]. *NTT – Nauka i tekhnika transporta. - Science and technology of transport*, 1, pp. 15–20 [in Russian]
6. Zhemerov, G.G., Ilina N.A., Tugay D.V. (2014). Umenshenie poter energii v sistemakh elektrosnabzheniya podvizhnogo sostava metropolitena pri ispolzovanii energoemkikh nakopiteley elektroenergii. [Reduction of energy losses in the power supply systems of the rolling stock of the subway when using energy-intensive electric energy storage devices]. *Tekhnichna elektrodynamika - Technical electrodynamics*, 5, pp. 137–138 [in Russian]
7. Zhiemierov, G.G., Tugai, D.V. (2014). Energy and power in power supply systems with semiconductor converters and energy storage. *Electrical engineering and electromechanics*, Kharkiv, 1, pp. 9 – 19.
8. Sulim, A.A., Khozya, P.A. (2017). Obosnovanie neobkhodimosti ispolzovaniya emkostnykh nakopiteley energii na podvizhnom sostave metropolitena. [Substantiation of the need to use capacitive energy storage devices on the rolling stock of the metro]. *Modern Science – Moderní věda. Praha, Czech Republic*, 7, pp. 9–19 [in Russian]
9. Allègre, A.-L., Bouscayrol A., Delarue P., Barrade P., Chattot E., El-Fassi S. (2010). Energy Storage System With Supercapacitor for an Innovative Subway. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 12, Vol. 57, pp. 4001–4012.
10. Iannuzzi, D., Tricoli P. (2012). Speed-based state-of-charge tracking control for metro trains with onboard supercapacitors. *IEEE Trans. Power Electron.* 27 (3-4), pp. 2129–2140.
11. Ciccarelli, F., Iannuzzi, D., Tricoli, P. (2012). Control of metro-trains equipped with onboard supercapacitors for energy saving and reduction of power peak demand. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 24, pp. 36–49.
12. Szénásy, I. (2009). New energy management of capacitive energy storage in metro railcar by simulation. *Acta Technica Jaurinensis*, Vol. 2, 1, pp. 117–131.
13. Yeliseev, A.D., Fursov S.A. (2015). Superkondensatory Nesscap povyshayut energoeffektivnost elektropriwodov. [Nesscap supercapacitors increase the energy efficiency of electric drives]. *Elektronnyye komponenty. - Electronic components*, 2, pp. 84–87 [in Russian]
14. Afanasov, A.M., Arpul, S.V., Demchuk R.N. (2016). Puskovye rezhimy avtonomnogo elektropoezda s bortovym nakopitelem energii [Starting modes of an autonomous electric train with onboard energy stor-

age]. *Elektromahnitna sumisnist ta bezpeka na zaliznychnomu transporti - Electromagnetic compatibility and safety in railway transport*, 11, pp. 18–23 [in Russian].

15 Sulym, A., Lomonos, A., Bialobrzheskyi O., Safronov O., Khozia P. (2020). Analysis of technical solutions for the implementation of on-board energy storage on the electric stock. *Scientific Bulletin of National Mining University*, 3, pp. 59-66. DOI: <https://doi.org/10.33271/nvngu/2020-3/059>

16. Riabtsev, H.H., Ermakov, Y.A., Rubychev, N.A. (2011). Raschet kondensatornykh nakopitielei enerhii dlia vahonov metropolityena [Calculation of condenser energy storage devices for metro cars]. *Elektrorotivna - Electrical engineering*, 8, pp. 15–19 [in Russian].

17. Sulym, A., Fomin, O., Khozia, P., Mastepan, A. (2018). Theoretical and practical determination of parameters of On-board capacitive energy storage of the rolling stock. *Naukovyi Visnyk Natsionalnogo Hirnychogo Universytetu - Scientific Bulletin of National Mining University*, pp. 79–87. DOI: <https://doi.org/10.29202/nvngu/2018-5/8>.

18. Riabov, Ye.S. (2015). Opriediteniie parametrov nakopitielia enerhii dlia eliektropodvyzhnogo sostava s asynkronnym tiahovym privodom v riezhyime ohranicheniia toka tiahovoi sieti. [Determination of energy storage parameters for electric rolling stock with asynchronous traction drive in traction network current limiting mode]. *Visnyk Natsionalnogo tekhnichnogo universytetu «Kharkivskii politekhnichnyi instytut» - Bulletin of the National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute"*, 6 (1115), pp. 132–137 [in Russian].

19. Miatiezh, A.V., Yaroslavtsev, M.V. (2013) Vyznachennia enerhoiemnosti bortovoho bufernogo kondensatornogo nakopychuvacha enerhii dlia miskoho elektrychnoho transportu [Determination of energy consumption of onboard buffer capacitor energy storage for urban electric transport]. *Transport Rossiiskoi Federatsii. Elektropostachannia ta elektroiekhnika -Transport of the Russian Federation. Power supply and electrical engineering*, 4 (47), pp. 62-65 [in Russian].

20. Kostin, M.O., Mukha, A.M., Sheikina, O.H., Kurylenko, O.Y. (2021). Determination of energy and electric capacity of on-board supercapacitor regenerative energy storage. *Science and progress of transport. Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan*, 2(92), pp. 29–39. DOI: <https://doi.org/10.15802/stp2021/237500>

21. Fomin, O., Sulym, A., Kulbovskiy, I., Khozia, P., Ishchenko, V. (2018). Determining grational parameters of the capacitive energy storage system for the underground railway rolling stock. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. Issue 2 (92)*, pp.. 63–71. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.126080>

22. Yatsko, S., Sidorenko, A., Vashchenko, Ya., Lyubarskyi B., Yeritsyan B. (2019). Method to improve the efficiency of the traction rolling stock with onboard energy storage. *International journal of renewable energy research*, 2, Vol. 9, pp. 848–858.

23. Vahony metropolitenu. Zahalni tekhnichni vymohy [Metro cars. General technical requirements] (2008). SOU MPP 45.060-253: 2008 from the 1-st January 2010. Kyiv: *Ministerstvo promyslovoi polityky Ukrainy - Ministry of Industrial Policy of Ukraine* [in Ukrainian]

24. Vahony metropoliteniv. Metody ta tekhnichni normy dlia rozrakhunku i proektuvannia mekhanichnoi chastyny vahoniv. [Metro cars. Methods and technical standards for the calculation and design of the mechanical part of cars] (2001). GSTU 3-017-2001 from the 1-st January 2012, with change I according to the order of the dated October 27, 2011 No. 296. Kyiv: Derzhavnyi komitet promyslovoi polityky Ukrainy - State Committee for Industrial Policy of Ukraine [in Ukrainian]

25. Pravyta tekhnichnoi ekspluatatsii metropoliteniv Ukrainy, zatverdzenykh Nakazom Ministerstva transportu Ukrainy vid 04.11.2003 roku № 854 (u redaktsii nakazu Ministerstva infrastruktury Ukrainy vid 12.11.2014 № 578) [Rules of technical operation of metro of Ukraine, approved by the Order of the Ministry of Transport of Ukraine]. Retrieved from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1540-14#n17> [in Ukrainian].

26. Instruksiia z rukhu poizdiv i manevrovoi roboty na metropolitenakh Ukrainy, zatverdzenoi Nakazom Ministerstva transportu Ukrainy 04.11.2003r. № 854 (u redaktsii nakazu Ministerstvainfrastruktury Ukrainy 07.11.2017 № 373). Retrieved from: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1449-17#n4> [in Ukrainian]

27. Instruksiia iz syhnalizatsii na metropolitenakh Ukrainy, zatverdzhena Nakazom Ministerstva transportu Ukrainy vid 04.11.2003 r. № 854 (u redaktsii nakazu Ministerstva infrastruktury Ukrainy 07.11.2017 № 373) [Instruction on signaling on the subways of Ukraine, approved by the Order of the Ministry of Transport of Ukraine 04.11.2003 № 854 (as amended by the order of the Ministry of Infrastructure of Ukraine 07.11.2017 № 373)]. Retrieved from: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0590-04#n1543> [in Ukrainian]

28. Stupeni zakhystu, shcho zabezpechuiut kozhukhy (Kod IP). [Degrees of protection provided by enclosures. (IP code)]. (2016) *DSTU EN 60529:2014 (EN 60529:1992, EN 60529:1992/A1:2000, EN*

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

60529:1992/A2:2013, EN 60529:1992/AC:1993, IDT) from the 1-st January 2016. Kyiv: Ministerstvo ekonomichnoho rozvytku i torhivli Ukrainy [in Ukrainian]

29 Hranychno dopustymy kontsentratsii khimichnykh i biolohichnykh rehovyn v atmosferomu povitri naselenykh mists. Hihienichni rehlymenty. Zatverdzheno Nakazom Ministerstva okhorony zdorovia Ukrainy 14.01.2020 roku № 52 [Maximum allowable concentrations of chemicals and biological substances in the air of populated areas. Hygienic regulations. Approved by the Order of the Ministry of Health of Ukraine on January 14, 2020. Retrieved from: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0156-20#Text> [in Ukrainian]

30 Pravyly pozhzhnoi bezpeky v Ukraini. Zatverdzheno Nakazom Ministerstva vnutrishnikh sprav Ukrainy 30.12.2014 r. № 1417 [Fire safety rules in Ukraine. Approved by the Order of the Ministry of Internal Affairs of Ukraine dated 30.12.2014 № 1417]. Retrieved from: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0252-15#Text> [in Ukrainian]

31. Aparaty elektrychni tiahovi. Zahalni tekhnichni vymohy. [Electric traction devices. General technical requirements]. (1995). DSTU 2773-94 (HOST 9219-95) from 1995. Kyiv: Derzhstandart Ukraine [in Ukrainian]

32. Mashyny, pribory i druihie tiekhnichieskiie izdieliia. Yspolnenyia dlia razlychnykh klimaticheskikh raionov. Katehorii, usloviia ekspluatatsii, khranieniia y transportyrovaniia v chasty vozdeistviia klimaticheskikh faktorov vneshnei sre-dy [Machines, devices and other technical products. Versions for different climatic regions. Categories, conditions of operation, storage and transportation in terms of the impact of climatic factors of the environment] (1971). HOST 15150-69 from the 1-st January 1971. Moskva: Hosudarstvennyi komitet SSSR po standartam [in Russian]

33. Yzdielia eliektrotiekhnichieskiie. Obshchiie trebovaniia v chasti stoikosti k mekhanycheskim vneshnim vozdeistvuiushchim faktoram. [Electrotechnical products. General requirements in terms of resistance to mechanical external influencing factors]. (1990). HOST 17516.1-90 from the 1-st January 1991. Moscow: Yzdatelstvo standartov [in Russian]

34. Zaliznychnyi transport. Elektromahnitna sumisnist. Chastyna 3-1. Rukhomyi sklad. Poizd ta kompleknyi transportnyi zasib [Railway applications - Electromagnetic compatibility - Part 3-1: Rolling stock - Train and complete vehicle]. (2018). DSTU EN 50121-3-1:2018 (EN 50121-3-1:2017, IDT) from the 1-st January 2018. Kyiv: DP «UkrNDNTs» [in Ukrainian]

35. Zaliznychnyi transport. Elektromahnitna sumisnist. Chastyna 4. Emisiia ta nespyriatlyvist syhnalnoi ta telekomunikatsiinoi aparatury [Railway transport. Electromagnetic compatibility. Part 4. Emission and immunity of signaling and telecommunication equipment]. (2018). DSTU EN 50121-4:2018 (EN 50121-4:2016, IDT)/Zmina № 1:2019 (EN 50121-4:2016/A1:2019, IDT). from the 1-st January 2018. Kyiv: DP «UkrNDNTs» [in Ukrainian]

36. Izolovani provody ta kabeli. Vymohy pozhzhnoi bezpeky ta metody vyprovuvannia [Insulated wires and cables. Fire safety requirements and test methods] (2007). DSTU 4809-2007 from the 1-st January 2008. Kyiv: Derzhspozhyvstandart Ukrainy [in Ukrainian]

37. Kabieli, provoda y shnury. Mietody proverki na nerasprostranieniia horieniia [Cables, wires and cords. Check methods for flame propagation] (1990). HOST 12176-89 Moskva: Hosudarstvennyi komitet SSSR po upravleniiu kachestvom produktsii i standartam [in Russian]

38. Hrafichni symvoly. Kolory ta znaky bezpeky. Zareiestrovani znaky bezpeky. [Graphical symbols — Safety colours and safety signs] (2020). DSTU EN ISO 7010:2019 (EN ISO 7010:2012; A1:2014; A2:2014; A3:2014; A4:2014; A5:2015; A6:2016; A7:2017, IDT; ISO 7010:2011; Amd 1:2012; Amd 2:2012; Amd 3:2012; Amd 4:2013; Amd 5:2014; Amd 6:2014; Amd 7:2016, IDT) . from the 1-st of July, 2020. Kyiv: DP «UkrNDNTs» [in Ukrainian]

39. Pravyly bezpechnoi ekspluatatsii elektroustanovok spozhyvachiv [Insulated wires and cables. Fire safety requirements and test methods]. (2007). DSTU 4809-2007. Kyiv: «Osнова». ISBN 978-966-699-204-1 [in Ukrainian]