

9. Bradford, J. W. Inventory rotation policies for slow moving parts [Text] / J. W. Bradford, P. K. Sugrue // Naval Research Logistics. — 1991. — № 1. — P. 87–106.
10. Eijs van, M. J. G. A note on the joint inventory replenishment problem under constant demand [Text] / M. J. G. Eijs van // J. of Operat. Res. Soc. — 1993. — № 2. — P. 185–193.

#### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ КОНТАКТНОГО ПРОВОДА МЕТОДОМ ПОЛНОГО ФАКТОРНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА

В данной статье, с помощью полного факторного эксперимента, проведен анализ возможности применения сталеалюминиевого контактного провода нового образца при эксплуатации в контактной сети города с учетом факторов, влияющих на износ. Рассматривается влияние таких факторов, как сила

прижатия токоприемника к контактному проводу; уклон дороги; ток нагрузки на контактный провод.

**Ключевые слова:** полный факторный эксперимент, сталеалюминиевый контактный провод, ток нагрузки, матрица планирования.

*Скुरіхін Владислав Ігорович, кафедра електричного транспорту, Харківський національний університет міського господарства ім. О. М. Бекетова, Україна, e-mail: vladscu@yandex.ru.*

*Скुरіхін Владислав Ігорович, кафедра електричного транспорту, Харківський національний університет городского хозяйства им. А. Н. Бекетова, Украина.*

*Skurikhin Vladislav, Kharkiv National Academy of Municipal Economy, Ukraine, e-mail: vladscu@yandex.ru*

УДК 621.333

Шацький С. П.

## УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДІВ КЕРУВАННЯ ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯМ НА МІСЬКОМУ ЕЛЕКТРИЧНОМУ ТРАНСПОРТІ

Показано, що контроль витрат електричної енергії підприємствами міського електротранспорту, який передбачає визначення обсягу спожитої електричної енергії за показаннями лічильників змінного струму тягових підстанцій, має ряд недоліків. Тому для виконання статистичного спостереження за споживанням електричної енергії в різних складових технологічного процесу перетворення електричної енергії в транспортну роботу запропоновано застосувати контрольні карти.

**Ключові слова:** міський електричний транспорт, енергоспоживання, енергозбереження, контрольна карта, ресурсозберігаючі технології.

### 1. Вступ

Електричний транспорт відноситься до енергоємних споживачів електроенергії і потребує постійного та надійного електропостачання. В складі електричного транспорту міський електричний транспорт виконує важливу соціальну роль, тому при розгляді більшості окремих факторів господарської діяльності використовувати тільки традиційний економічний підхід не достатньо, тим більше, що надання послуг можливе тільки при повному функціонуванні підсистем міського електротранспорту.

Недостатність, а в багатьох напрямках відсутність наукового опрацювання цих питань є одним з головних чинників відставання експлуатаційних показників вітчизняного пасажирського транспорту від світового рівня. При цьому на підприємствах міського електротранспорту мають місце приховані значні резерви, використання яких не потребує пошуку нових джерел ресурсів. Значне скорочення невиробничих витрат та споживання ресурсів може бути досягнуто за рахунок вдосконалення на науковій основі організаційного управління ресурсами, оптимізації структури ресурсних потоків на виробництві.

Тому енергозбереження є проблемою актуальною.

### 2. Постановка проблеми

На державному рівні Указом Президента України «Про невідкладні заходи щодо забезпечення ефективного використання паливо — енергетичних ресурсів» визначена необхідність:

- запровадження системи показників енергоефективності та їх моніторингу для різних сфер економіки держави;
- проведення необхідних статистичних спостережень за показниками енергоефективності, формування інформаційних баз даних динаміки змін цих показників.

Тому удосконалення чинних методів оптимізації витрат електроенергії є актуальною задачею для науки, вирішення якої також сприяє виконанню Указу Президента України і зменшує експлуатаційні витрати підприємств електричного транспорту [1–6].

Метою статті є підвищення рівня енергозбереження на основі удосконалення методів керування енергоспоживанням на міському електричному транспорті за рахунок статистичного спостереження за споживанням електричної енергії в різних складових технологічного процесу перетворення електричної енергії в транспортну роботу.

### 3. Аналіз публікацій

На даний час з питань енергоощадності було опубліковано багато наукових праць, що стосуються транспортних засобів міського електротранспорту та присвячені експлуатаційній діяльності підприємств електротранспорту.

У наукових працях [1–7] наведено задачі в області енергозбереження, результати досліджень та перспективи впровадження заходів з раціонального використання ресурсів.

Вирішувались питання ресурсозбереження, як управління проектами відповідного напрямку [7–10]. Але оскільки втрати електроенергії при забезпеченні перевезень пасажирів визначаються за окремими складовими від тягових підстанцій до окремих елементів рухомого складу, а також виконанні технічного обслуговування і ремонту (ТО і Р), то є необхідним удосконалити методику керування енергоспоживанням.

### 4. Удосконалення методів керування енергоспоживанням

Контроль витрат електричної енергії підприємствами міського електричного транспорту передбачає визначення річного обсягу спожитої електричної енергії із застосуванням показань лічильників змінного струму якими обладнані тягові підстанції і їх порівняння з нормативним значенням. Нормативне значення встановлюють в залежності від обсягу транспортної роботи згідно з ГКН 02.07.005.

Зазначений метод (надалі – традиційний підхід) в основному використовують для планування витрат електричної енергії на поточний рік і оцінки ефективності запроваджених заходів з її економії, а показання лічильників змінного струму для розрахунків з енергопостачальними компаніями за спожиту електричну енергію.

Незважаючи на те, що ГКН 02.07.005 пропонує метод, регламентований міжнародним стандартом ДСТУ 4110 (ANS/IEEE 738) він не дозволяє визначити, в якій саме ланці кола передавання електричної енергії до транспортного засобу спостерігається збільшення її витрат. Оскільки процес починається від її перетворення на тяговій підстанції зі змінного струму в постійний, продовжується в кабельній та контактній мережах і завершується безпосереднім споживанням її транспортними засобами, що перебувають в русі або технічному обслуговуванні чи ремонті.

Таким чином, традиційний підхід, який застосовується для вирішення питань щодо зменшення витрат енергії для забезпечення пасажирських перевезень трамвайними вагонами та тролейбусами має такі недоліки:

- не є гнучким і призводить до додаткових втрат енергії оскільки побудований на перевірці пост-фактум, коли запланований обсяг послуг з пасажирських перевезень вже досягнутий;
- не дозволяє визначити причину збільшення витрат електричної енергії, а значить і обґрунтувати необхідність застосування того чи іншого заходу щодо зменшення витрат електричної енергії.

Зазначені недоліки можна і усунути у разі впровадження стратегії попередження втрат енергії, що дозволяє уникнути зайвих витрат при наданні запланованого обсягу послуг з пасажирських перевезень. Цього мож-

на досягти, збираючи та аналізуючи інформацію про процес споживання електричної енергії таким чином, щоб потім вплинути на сам процес.

Ця стратегія (надалі – новий підхід), можлива за умови застосування лічильників постійного струму на транспортних засобах і поділення процесу споживання електричної енергії на забезпечення таких технологічних процесів:

- передавання електричної енергії до транспортних засобів;
- перетворення електричної енергії у транспортну роботу на маршруті;
- виконання операцій зберігання, технічного обслуговування та ремонту транспортних засобів.

Зазначені технологічні процеси взаємопов'язані – відповідно до рис. 1 і мінімальні витрати електричної енергії можуть бути отримані за умови, що вони мінімальні для кожного з них.

$$\min Q_1 = \min (Q_2 - J) - \min Q_3,$$

де  $J$  – втрати енергії під час передавання електричної енергії до транспортного засобу.

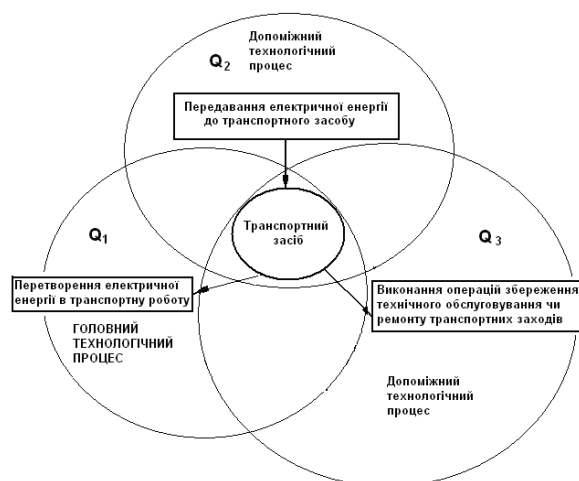


Рис. 1. Взаємозв'язок процесів перетворення електричної енергії в транспортну роботу

Обсяг електричної енергії, яка перетворюється в транспортну роботу за добу ( $Q_1$ ) залежить від кількості транспортних засобів, які перебувають на маршруті, що в свою чергу визначає обсяг виконаної транспортної роботи.

В загальному випадку на одному і тому самому маршруті може перебувати різна кількість транспортних засобів. За будь-який наперед визначений період часу через їх відмови та різницю в розкладах руху на різні дні тижня, що призведе для різниці обсягах спожитої енергії на маршруті за час спостережень.

За цих умов, для оцінки перетворення електричної енергії в транспортну роботу (надалі – процес енергоспоживання на маршруті) доцільно використовувати показник питомих витрат енергії в кВт · год/км, а витрати обчислювати як різницю показань лічильників транспортних засобів до і після завершення роботи на маршруті. Такий показник не буде залежати ні від кількості транспортних засобів, ні від обсягу транспортної роботи виконаної ними.

Обсяг електричної енергії ( $Q_3$ ), яка споживається транспортним засобом під час поставлення на зберігання, технічне обслуговування і ремонт (надалі — процес енергоспоживання під час ТО і Р) залежить від декількох факторів, а саме:

- інвентарної кількості транспортних засобів;
- кількості транспортних засобів яка перебуває в ремонтах та технічних обслуговуваннях кількість яких залежить від виконаної транспортної роботи;
- кількості транспортних засобів, яка перебуває в технічних обслуговуваннях і число яких залежить від інвентарної кількості транспортних засобів.

За цих умов, для оцінки процесу енергоспоживання під час ТО і Р доцільно використовувати показник питомих витрат енергії в кВт · год/маш, а витрати енергії обчислювати як різницю показань лічильників після останнього та поточного виїзду транспортних засобів на маршрут. Зазначений показник не буде залежати ні від інвентарної кількості транспортних засобів, ні від кількості виконаних технічних обслуговувань чи ремонтів.

Обсяг електричної енергії ( $Q_2$ ), яка передається транспортним засобом, які перебувають на маршруті, зберіганні, технічному обслуговуванні чи ремонті (надалі — процес енергопостачання) залежить від обсягів енергії  $Q_1$  та  $Q_3$ .

За цих умов, для оцінки процесу енергопостачання доцільно застосувати показник питомих витрат енергії в системі енергопостачання приведені до транспортної роботи в кВт · год/км, а втрати розраховувати як різницю показань лічильників тягових підстанцій і транспортних засобів.

Для виконання статистичного спостереження за витратами електричної енергії в різних складових технологічного процесу перетворення електричної енергії в транспортну роботу пропонується застосувати контрольні карти. Контрольна карта — це графічний засіб застосування статистичних методів, важливість яких для керування виробничими процесами була вперше показана доктором Уолтером Шухартом, теорія яких розрізняє два види мінливості виробничого процесу.

Перший вид — випадкова мінливість через «випадкові причини» і зумовлена широким набором причин, що присутні постійно, які нелегко виявити. Кожна з таких причин становить дуже малу частку загальної мінливості, і жодна з них не значима сама по собі (напри-

клад, вплив окремого світлофора на процес споживання енергоспоживання на маршруті), проте сума всіх цих причин є внутрішньою суттю процесу.

Другий вид мінливості являє собою реальні зміни в процесі. Вони можуть бути наслідком деяких невідповідних причин, які можуть бути усунуті, принаймні теоретично. До них можуть бути віднесені причини зазначені у табл. 1.

Застосування статистичних методів керування витратами електроенергії потребує розроблення та впровадження програмних засобів для вирішення задач оптимізації її витрат, що в свою чергу потребує стандартизації:

- основних причин збільшення витрат електричної енергії;
- заходів щодо зменшення витрат електричної енергії;
- розроблення алгоритму дій щодо зменшення витрат електричної енергії.

Основний технологічний процес перетворення електричної енергії в транспортну роботу можна умовно поділити на три допоміжні технологічні процеси:

- передавання електричної енергії до транспортних засобів;
- перетворення електричної енергії у транспортну роботу на маршруті;
- виконання операцій зберігання, технічного обслуговування та ремонту транспортних засобів.

Для кожного із технологічних процесів зазначених вище характерні тільки йому причини збільшення витрат електричної енергії, які надані в табл. 1.

Виділення із загального процесу трьох технологічних процесів дозволяє обґрунтувати застосування заходів зменшення витрат електричної енергії, які індивідуальні для кожного технологічного процесу, бо усувають тільки властиві йому причини збільшення витрат електричної енергії.

Характерною рисою для нового підходу є можливість застосування уніфікованої послідовності дій (рис. 2), щоб визначити доцільність застосування заходів щодо зменшення витрат електричної енергії й оцінки ефективності їх впровадження.

Застосування нового підходу також усуває недолік традиційного підходу, що стосується своєчасності запровадження заходів, що забезпечується за рахунок застосування контрольних карт для показників споживання електричної енергії як інструмента відображення та аналізування інформації для кожного із процесів.

Таблиця 1

Основні, стандартизовані причини збільшення витрат електричної енергії

Назва технологічного процесу	Причини збільшення витрат електричної енергії
Передавання електричної енергії до транспортних засобів	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Недосконалість технічних засобів перетворення змінного струму в постійний, у тому числі в період відсутності навантаження на технічні засоби.</li> <li>2. Незадовільний технічний стан кабельної мережі.</li> <li>3. Незадовільний технічний стан контактної мережі.</li> <li>4. Незадовільний технічний стан електричних з'єднань рейкової колії</li> </ol>
Перетворення електричної енергії у транспортну роботу на маршруті	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Некваліфіковані дії водія.</li> <li>2. Незадовільний технічний стан транспортних засобів.</li> <li>3. Наявність додаткових перешкод, що призводить до незапланованих графіком руху зупинок транспортного засобу</li> </ol>
Виконання операцій зберігання, технічного обслуговування та ремонту транспортних засобів	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Несвоєчасне вимкнення споживачів електричної енергії транспортного засобу під час поставлення його на зберігання.</li> <li>2. Недосконалість організації технологічного процесу подавання транспортних засобів на зберігання, технічне обслуговування чи ремонт.</li> <li>3. Недосконалість технологічний процесів виконання операцій технічного обслуговування чи ремонтом пов'язаних з діагностуванням електричного обладдя транспортного засобу</li> </ol>



Рис. 2. Послідовність дій щодо зменшення витрат електричної енергії

Мета застосування контрольних карт — знайти невіпадкові зміни для процесів та дати критерії для виявлення недостатку їх статистичного керування. Вважають, що процес знаходиться в статистично керованому стані, тобто не потребує впровадження заходів щодо зменшення витрат енергії, якщо його мінливість викликана тільки випадковими причинами.

Після визначення прийняттого рівня мінливості технологічних процесів, під час яких витрачається електрична енергія (надалі — процесів енергоспоживання), будь-який відхил від нього вважають результатом дії невіпадкових причин, які варто виявити, вилучити чи послабити.

Задача методу статистичного керування процесами енергоспоживання, що запропоновано в цьому підході, це забезпечення і підтримка процесів на прийнятному і стабільному рівні, що гарантує оптимальний рівень витрат електричної енергії на виконання транспортної роботи.

## 5. Висновки

Удосконалення методу статистичного керування процесом перетворення електричної енергії в транспортну роботу потребує формалізації причин збільшення витрат електричної енергії та заходів націлених на зменшення їх витрат, а також послідовності дій, що б досягти оптимального рівня її використання.

Подальший розвиток теорії оптимізації витрат електроенергії має базуватися на застосування методів статистичного керування процесами з використанням контрольних карт, що потребує розроблення:

- уніфікованих баз даних щодо використання електричної енергії міським електричним транспортом;
- стандартних підходів до визначення причин збільшення витрат електричної енергії;
- стандартних підходів до визначення заходів щодо зменшення витрат електричної енергії.

## Література

1. Будниченко, В. Б. Критерии оценки потерь электроэнергии в конструкции подвижного состава [Текст] / В. Б. Будниченко // Коммунальное хоз-во городов. — К.: Техніка. — 2003. — Вып. 23. — С. 193–197.
2. Карпушин, Е. И. Визначення експлуатаційних витрат енергії рухомих складом трамвая і тролейбуса з застосуванням нечітких множин при моделюванні руху [Текст] / Е. И. Карпушин // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. — Х.: ХарДАЗТ. — 2000. — 2(23). — С. 48–50.
3. Далека, В. Х. Оцінка ресурсвикористання на підприємствах міського електротранспорту [Текст] / В. Х. Далека // Коммунальное хоз-во городов. — К.: Техніка. — 2002. — Вып. 46. — С. 189–196.

4. Ковалко, М. П. Энергосбережения — приоритетный напрямок державної політики України [Текст] / М. П. Ковалко, С. П. Денисюк // Коммунальное хоз-во городов. — К.: УЕЗ, 1998. — 506 с.
5. Левковець, П. Р. Системна ефективність на транспорті. Методи, моделі і стратегії [Текст] / П. Р. Левковець. — Вища школа — К.: НТУ, ІЕБТ, 2002. — 216 с.
6. Скалозуб, В. В. Ресурсозберігаючі методи управління тягою поїздів і удосконалення конструкцій рухомого складу [Текст] : автореф. дис. д-ра техн. наук: 05.22.07 / В. В. Скалозуб; ДНУЗТ. — Дніпропетровськ, 2003. — 35 с.
7. Далека, В. Х. Наукове забезпечення ресурсозбереження на міському електротранспорті в ринковому середовищі [Текст] / В. Х. Далека // Коммунальное хоз-во городов. — К.: Техніка, 2003. — Вып. 53. — С. 146–152.
8. Кігель, В. Р. Методи і моделі підтримки прийняття рішень у ринковій економіці [Текст] / В. Р. Кігель. — Вища школа. — К.: ЦУЛ, 2003. — 202 с.
9. Leadbetter, M. R. Extremes and related hrjrherties of random sequences and processes [Text] / M. R. Leadbetter, G. Lindgren, H. Rootzen. — Berlin: Heildelberg, 1983. — 346 p.
10. Fleming, Q. W. Earned Value Project Management [Text] / Quentin W. Fleming, Joel M. Koppelman. — Ed. 2. — Project management Institute, 2000. — 224 p.

## УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДОВ УПРАВЛЕНИЯ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЕМ НА ГОРОДСКОМ ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ ТРАНСПОРТЕ

Показано, что контроль расхода электрической энергии предприятиями городского электрического транспорта, который предусматривает определение объема потребления электрической энергии по показаниям счетчиков переменного тока тяговых подстанций, имеет несколько недостатков. Поэтому для выполнения статистического наблюдения потребления электрической энергии по разным составляющим технологического процесса преобразования электрической энергии в транспортную работу предлагается применять контрольные карты.

**Ключевые слова:** городской электрический транспорт, энергопотребление, энергосбережение, контрольная карта, ресурсосберегающие технологии.

*Шацький Сергій Петрович, аспірант, кафедра електричного транспорту, Харківський національний університет міського господарства ім. О. М. Бекетова, Україна.  
e-mail: dalekavf@ukr.net.*

*Шацький Сергей Петрович, аспирант, кафедра электрического транспорта, Харьковский национальный университет городского хозяйства им. А. Н. Бекетова, Украина,*

*Shatskiyy Sergiy, Kharkiv National Academy of Municipal Economy, Ukraine, e-mail: dalekavf@ukr.net*