

Д.О. Личов

Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова, Україна

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЕКСПЛУАТАЦІЇ МІСЬКОГО ЕЛЕКТРОТРАНСПОРТУ ЗА ДОПОМОГОЮ SADT-МЕТОДОЛОГІЇ

Розглянуто питання підвищення ефективності експлуатації міського електротранспорту за рахунок впровадження CASE-технологій на основі SADT-методології. Наведено виконання системного аналізу експлуатації міського електричного транспорту. Розглянуто систему міського електротранспорту не як ізольовану систему, яка вирішує тільки свої проблеми – отримання прибутку, але у взаємозв'язку з проблемами міста, населення, яке користується послугами транспорту, підприємств на яких працюють люди, що перевозить транспорт. Запропонована методологія дозволить створити комп'ютерну функціональну модель експлуатації засобів електротранспорту у форматі IDEF0 з використанням програмного пакету BPWin.

Ключові слова: система, керування, рух, транспорт.

Постановка проблеми

Проблема економічності функціонування міського електричного транспорту стала все сильніше проявлятися із зростанням вартості енергоносіїв та обмежень фінансування розвитку міського електротранспорту. Це потребує удосконалення моделей експлуатації рухомого складу на маршрутах міста, оптимізацію енерговитрат, а також проведення наукових досліджень [1].

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Встановлення закономірностей витрат матеріальних ресурсів на прикладі експлуатації рухомого складу на підприємствах міського електричного транспорту було здійснено, зокрема, в роботах [2-7], але вони не враховують в повній мірі процеси витрат електричної енергії на тягу рухомого складу з використанням інформаційних технологій. На базі відповідних моделей [1] можливо отримати залежності, які пов'язують витрати матеріальних та людських ресурсів до умов експлуатації рухомого складу міського електротранспорту.

Мета роботи

Встановити основні закономірності при експлуатації рухомого складу міського електричного транспорту для подальшого формування вимог до тягових режимів роботи транспортних засобів з урахуванням вартості електричної енергії.

Виклад основного матеріалу

Міський електричний транспорт (МЕТ) слід розглядати як комплексну виробничу багатогранну систему, яка функціонально об'єднує виробничі підприємства й забезпечує потреби населення в перевезеннях, а також використовує внутрішні та споживає зовнішні ресурси [8-10]. Експлуатація транспорту є комплексним процесом, що складається з трьох підсистем: управління експлуатацією, комерційної та технічної експлуатації. Кожна з цих підсистем має свої функціональні завдання, для виконання яких необхідні відповідні ресурси. Тому для забезпечення ресурсозбереження при експлуатації МЕТ представлені та розглянуті такі рівні розробки: транспортна система міста, підприємства МЕТ, технологічні процеси пасажирських перевезень, утримання, технічного обслуговування та ремонту об'єктів і технічних засобів. Також експлуатація МЕТ включає технічне обслуговування транспортних засобів в депо [11].

Принцип взаємозв'язку, при розгляді такої системи, як електричний транспорт, потребує встановити взаємодію транспортних підприємств та підприємств, які забезпечують функціонування МЕТ. Необхідно розглядати систему міського електротранспорту не як ізольовану систему, яка вирішує тільки свої проблеми, наприклад отримання прибутку, але у взаємозв'язку з проблемами міста, населення, яке користується послугами транспорту, підприємств на яких працюють люди, що перевозить транспорт. Йому відповідає побудова моделей зовнішнього середовища, а саме середовища прямої та опосередкованої дії.

Першою моделлю в системному аналізі є модель «Чорний ящик». Формальна модель типу «Чорний ящик» будується у відповідності з метою аналізу, шляхом вибору точки зору, яка в найбільшій мірі відповідає поставленій меті. Вона описує межі системи і вхідні та вихідні величини. Межі системи визначають об'єкти, що входять у систему.

В системі вхідні величини перетворюються у вихідні. Вхідні величини також описують взаємозв'язки системи з навколишнім середовищем, а вихідні – результат діяльності системи. Модель «Чорний ящик» дозволяє вивчити місце даної системи в зовнішньому середовищі, та функції, які вона виконує.

Модель «Чорний ящик», на першому етапі моделювання, логічно побудувати з точки зору керівника служби енергопостачання. Модель представлена на рисунку 1.

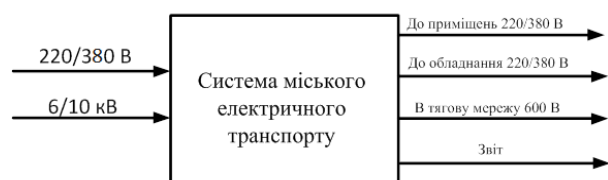


Рис. 1. Модель типу «Чорний ящик» з точки зору керівника служби енергопостачання

В моделі система міського електричного транспорту представлена у вигляді прямокутника, де показані межі введів електроенергії від постачальника, всі приміщення та інженерні споруди підприємства електротранспорту та тягова мережа, яка розподілена по всій території міста.

В систему входить електроенергія напругою 220/380 В та напругою 6/10 кВ від зовнішнього постачальника (наприклад акціонерної компанії «Харківобленерго»). З точки зору керівника служби енергопостачання в системі електротранспорту електрична енергія перетворюється, розподіляється і подається внутрішнім споживачам, а саме: «До приміщень 220/380 В» – в приміщення для освітлення та електропостачання робочих місць персоналу, «До обладнання 220/380 В» на робочі місця обслуговування засобів електротранспорту до встановленого на них обладнання, «В тягову мережу 600 В» – в тягову мережу трамваїв та тролейбусів для забезпечення руху транспортних засобів.

Ще однією вихідною величиною, яка відображає інформаційні процеси є «Звіт» – в якому вказуються витрати електроенергії та розподіл їх по окремим споживачам.

Якщо в систему електротранспорту входить декілька економічно незалежних підприємств, то можна контролювати витрати електроенергії кожним підприємством по двом виходам, а саме «До

приміщень 220/380 В» та «До обладнання 220/380 В».

Витрати електроенергії, що подається «В тягову мережу 600 В» і споживається транспортними засобами кожного окремого підприємства розподілити не можна.

Для подачі електроенергії в тягову мережу в системі здійснюється перетворення електричної енергії змінного струму з напругою 6(10) кВ в постійний струм з напругою 600 В і розподіл по окремим ділянкам тягової мережі. Перетворення енергії здійснюють тягові підстанції, які розміщені в різних районах міста. Межа системи зі сторони входу є точки вводу електроенергії від кабелів споживача, тобто лічильники електроенергії, які встановлені на вводах тягових підстанцій, в будівлях і т.п. Зі сторони виходу границями є споживачі електроенергії на робочих місцях та лінії тягової мережі, до яких під'єднують транспортні засоби. Перетворення і розподіл електричної енергії математично можна описати векторним оператором $\overline{R}(t)$ так, що:

$$\overline{U_{\text{вв}}}(t) = \overline{R}(t) \cdot \overline{U_{\text{в}}}(t) \quad (1)$$

де $\overline{U_{\text{вв}}}(t)$ – вектор вихідних параметрів електроенергії (параметри системи змінюються з часом, тому сама система є динамічною); $\overline{R}(t)$ – вектор перетворення і розподілу електричної енергії; $\overline{U_{\text{в}}}(t)$ – вектор (множина) вхідних параметрів електроенергії, що подаються на тягові підстанції.

Побудована модель складається з контекстної діаграми та діаграм декомпозиції різних рівнів. Контекстна діаграма відображає загальні функції системи міського електротранспорту, а діаграми декомпозиції деталізують процеси функціонування підрозділів з чітким визначенням матеріальних та інформаційних потоків. Діаграми декомпозиції розрізняються по рівню. В свою чергу діаграми декомпозиції самого нижнього рівня демонструють роботу з максимальною деталізацією усіх дій.

Побудова функціональної моделі починається з розробки контекстної діаграми [12]. Контекстна діаграма – це початкова діаграма моделі, що характеризує функції системи взагалі (без деталізації) і зв'язки системи з навколишнім середовищем [13]. Для всіх вхідних величин (дуг) в моделі є пояснення опрацьовуваних сигналів роботи підприємства. Вхідні величини із командної сторони це керівні документи стандарти, розпорядження, яких регулюють порядок та правила виконання конкретної роботи. Отримана контекстна діаграма системи МЕТ приведена на рисунку 2.

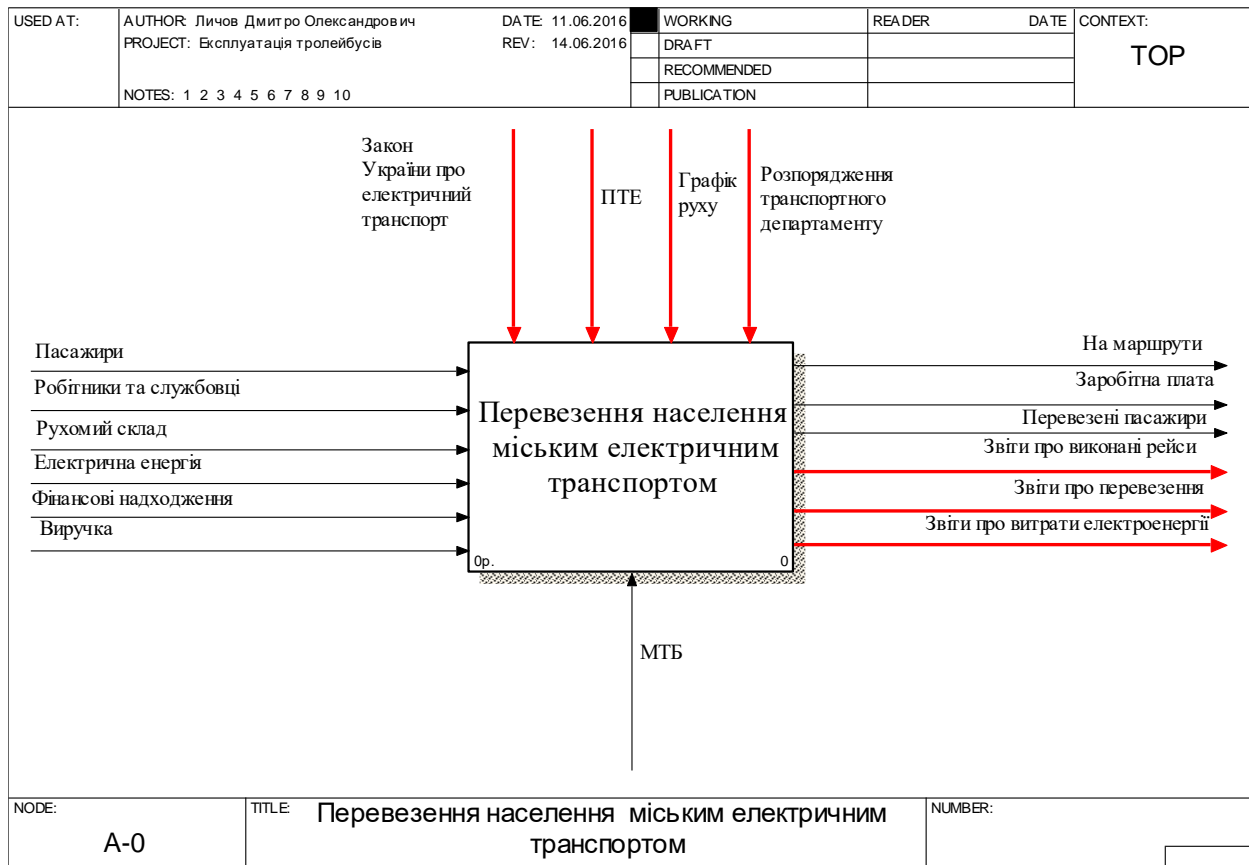


Рис. 2. Контекстна діаграма системи МЕТ

Основний блок контекстної діаграми «Перевезення населення міським електричним транспортом» відображає основне завдання для якого призначена система міського електричного транспорту, та розглядає процеси використання електричного транспорту для обслуговування жителів міста.

Вхідними величинами є електрична енергія, пасажирів, рухомий склад, робітники та службовці, виручка та фінансові надходження. Вхідні величини відображають усі об'єкти з якими працюють підприємства МЕТ для виконання своїх функцій.

Результатом роботи є випуск міського електротранспорту на маршрути, перевезення пасажирів, заробітна плата службовцям.

Створена функціональна модель IDEF0 дозволяє виконувати у BPWin аналіз витрат електроенергії за функціональними блоками (табл. 1). Результат аналізу підтверджує, що основна частина витрат електроенергії складає 19 млн. грн. для блоку «Робота на лінії». Це становить 90,8% всіх витрат на електроенергію.

Згідно результатів функціонально-вартісного аналізу на оплату електричної енергії витрачається 30,5% всіх коштів, що йдуть на експлуатацію електричного транспорту. На міському електричному транспорті України відсутні лічильники електроенергії, тобто вирішувати

питання економії енергоресурсів в час, коли у основного споживача відсутні прилади обліку неможливо. Аналогічна ситуація відноситься до окремих депо, якщо експлуатацією МЕТ займається декілька розрізаних, економічно самостійних підприємств.

Таблиця 1.

Аналіз витрат на електроенергію виконаний за функціональними блоками

Назва блоку	Вартість, грн.	Вартість, %
Випуск рухомого	985 185,28	4,7 %
Робота на лінії	19035111,51	90,8 %
Диспетчерське керування рухом	209750,14	1,0 %
Прийом в депо	733732,27	3,5 %
Всього:	20963779,20	100,00 %

Наприклад, окремо трамвайне і тролейбусне депо. Так в м. Харкові створено підприємство КП «Міське електротранссервіс», яке забезпечує керування роботою в цілому та окремими, економічно незалежними підприємствами, а саме: КП «Тролейбусне депо №2», КП «Тролейбусне депо №3», КП «Жовтнєве трамвайне депо», КП «Салтівське трамвайне депо». Конфігурація

трамвайних та тролейбусних ліній і організація електропостачання така, що визначити фактичні витрати електроенергії транспортними засобами кожного депо неможливо. Тому розрахунки за електроенергію здійснюються за другорядним показником, а саме за об'ємом транспортної роботи (в машино-кілометрах). Відповідно при відсутності обліку електроенергії, яку витрачають транспортні засоби кожного депо, вирішувати питання енергозбереження не можливо.

Висновки

1. Розроблено комп'ютерну функціональну модель експлуатації засобів електротранспорту у форматі IDEF0 з використанням програмного пакету RPWin.

2. Виконаний за допомогою моделі функціонально-вартісний аналіз показав, що основну долю витрат підприємства електротранспорту складають витрати на оплату електроенергії.

Література

1. Далека В.Х. Структуризація системної моделі транспортних систем для формування проєктів ресурсозбереження / В.Х. Далека, К.О. Сорока, Д.О. Личов // *Комунальне господарство міст: Наук.-техн. сб.* – Харків.: ХНУМГ, 2015. – Вип. 121. – С. 6–11.
2. Далека В.Х. Математичні методи і моделі оптимізації виробничих програм підприємств міського електротранспорту в проєктах ресурсозбереження / В.Х. Далека, О.С. Гордієнко, Д.О. Личов // *Коммунальное хозяйство городов: Науч.-техн. сб.* – К.: Техника, 2007. – Вип. 79. – С. 299–305.
3. Личов Д.О. Вимоги до персональних комп'ютерів для організації автоматизованого робочого місця працівника міського електротранспорту / Д.О. Личов, А.І. Сергічук // *Коммунальное хозяйство городов: Науч.-техн. сб.* – К.: Техника, 2010. – Вип. 88. – С. 313–318.
4. Личов Д.О. Віртуалізація як засіб підвищення рівня використання інформаційних ресурсів на підприємствах міського електротранспорту / Д.О. Личов, К.О. Сорока, В.Ф. Сидоренко // *Комунальне господарство міст: Наук.-техн. сб.* – Харків.: ХЕАМН, 2011. – Вип. 97. – С. 335–341.
5. Multi-Train Energy Saving for Maximum Usage of Regenerative Energy by Dwell Time Optimization in Urban Rail Transit Using Genetic Algorithm / F. Lin, Sh. Liu, Zh. Yang [et al.] // *ENERGIES*. – 2016. – Vol. 9, No. 208. – P. 1–21.
6. Сорока К.О. Підвищення ефективності експлуатації засобів електротранспорту за рахунок керування і оптимізації швидкісних режимів руху / К.О. Сорока, Д.О. Личов // *Вісник Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут"*. – Харків, НТУ «ХПІ», 2017, 27 (1249). – С. 289–293.
7. Лычев Д.А. Оптимизация режимов движения транспортных средств городского электрического транспорта / Д.А. Лычев, А.С. Поварехо // *Вестник Белорусско-Российского университета*. – 2020. – № 1 (66). С. 58–63.

8. Закон України "Про транспорт" // *Постанова Верховної Ради України № 233/94-ВР від 10.11.1994.*
9. Закон України «Про міський електричний транспорт» // *Постанова Верховної Ради України N 1914-IV від 29 червня 2004 року.*
10. Левковець П.Р., Гедз Ю.М., Канарчук О.В., Кришан Г.Л., Сендак М.Д. Системна ефективність на транспорті. Методи, моделі і стратегії / Під редакцією П.Р. Левковця. – К.: НТУ, ІЕБТ, 2002. – 216 с.
11. Далека В.Х. Методологічні аспекти ресурсозбереження на міському електричному транспорті // *Коммунальное хоз-во городов*. – Вип. 49. К.: Техніка, 2003. – С. 179–184.
12. Черемных С.В., Семенов И.О., Ручкин В.С. Моделирование и анализ систем. IDEF-технологии. – М.: Финансы и статистика, 2006. – 188 с.
13. Бакуліч О.О. Застосування SADT-моделювання для формалізації процесу управління транспортними потоками на вулично-дорожній мережі міст [Електронний ресурс] / О.О. Бакуліч, А.А. Дудник // *Вісник Національного транспортного університету*. – 2012. – № 26(2). – С. 63–67.

References

1. Daleka V.H. Strukturizatsiya sistemnoyi modeli transportnih sistem dlja formuvannja proektiv resursozberezhennja / V.H. Daleka, K.O. Soroka, D.O. Lychoy // *Komunal'ne gospodarstvo mist: Nauk.-tehn. sb.* – Harkiv.: HNUMG, 2015. – Vip. 121. – P. 6–11.
2. Dalekaya V.H. Matematicheskiye metody i modeli optimizatsii proizvodstvennykh programm predpriyatiy gorodskogo elektrotransporta v proyektakh resursosberezheniya / V.KH. Dalekaya, A.S. Gordiyenko, D.O. Lychoy // *Kommunal'noye khozyaystvo gorodov: Nauch.-tekhn. sb.* – M.: Tekhnika, 2007. – Vyp. 79. – P. 299–305.
3. Lychoy D.O. Trebovaniya k personal'nyy komp'yuteram dlya organizatsii avtomatizirovannogo rabocheho mesta rabotnika gorodskogo elektrotransporta / D.O. Lychoy, A.I. Sergiychuk // *Kommunal'noye khozyaystvo gorodov: Nauch.-tekhn. sb.* – M.: Tekhnika, 2010. – Vyp. 88. – P. 313–318.
4. Lychoy D.O. Virtualizatsiya kak sredstvo povysheniya urovnya ispol'zovaniya informatsionnykh resursov na predpriyatiyakh gorodskogo elektrotransporta / D.O. Lychoy, K.A. Soroka, V.F. Sidorenko // *Kommunal'noye khozyaystvo gorodov: Nauch.-tekhn. sb.* – Khar'kov.: KHEAMN, 2011. – Vyp. 97. – P. 335–341.
5. Multi-Train Energy Saving for Maximum Usage of Regenerative Energy by Dwell Time Optimization in Urban Rail Transit Using Genetic Algorithm / F. Lin, Sh. Liu, Zh. Yang [et al.] // *ENERGIES*. – 2016. – Vol. 9, No. 208. – P. 1–21.
6. Soroka K.A. Povysheniye effektivnosti ekspluatatsii sredstv elektrotransporta za schet upravleniya i optimizatsii skorostnykh rezhimov dvizheniya / K.A. Soroka, D.O. Lychoy // *Vestnik Natsional'nogo tekhnicheskogo universiteta "Khar'kovskiy politekhnicheskiy institut"*. – Khar'kov, NTU «KhPI», 2017, 27 (1249). – P. 289–293.
7. Lychoy D.O. Optimizatsiya rezhimov dvizheniya transportnykh sredstv gorodskogo elektricheskogo transporta / D.O. Lychoy, A.S. Povarekho // *Vestnik Belorussko-Rossiyskogo universiteta*. – 2020. – № 1 (66). S. 58–63.

8. Zakon Ukrainy "O transporte" // Postanovleniye Verkhovnoy Rady Ukrainy № 233/94-VR ot 10.11.1994.
9. Zakon Ukrainy «O gorodskom elektricheskom transporte» // Postanovleniye Verkhovnoy Rady Ukrainy N 1914-IV ot 29 iyunya 2004.
10. Levkovets P.R., Gedz YU.M., Kanarchuk A.V., Krishan L., Sendak M.D. Sistemnaya effektivnost' na transporte. Metody, modeli i strategii / Pod redaktsiyey P.R. Levkovtsya. - M. : NTU, IYEBT, 2002. - 216 p.
11. Dalekaya V.H. Metodologicheskiye aspekty resursosberezheniya na gorodskom elektricheskom transporte // Kommunal'noye khoz-vo gorodov. - Vyp. 49. M. : Tekhnika, 2003. - P. 179-184.
12. Cheremnykh S.V., Semenov I.O., Ruchkin V.S. Modelirovaniye i analiz sistem. IDEF-tekhnologii. – M.: Finansy i statistika, 2006. – 188 p.
13. Bakulich A.A. Primeneniye SADT-modelirovaniya dlya formalizatsii protsessa upravleniya transportnymi potokami na

ulichno-dorozhnoy seti gorodov [Elektronnyy resurs] / A.A. Bakulich, A.A. Dudnik // Vestnik Natsional'nogo transportnogo universiteta. - 2012. - № 26 (2). - P. 63-67.

Рецензент: доктор технічних наук, професор Петренко О.М., Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова, Україна

Автор: ЛИЧОВ Дмитро Олександрович
старший викладач

Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова

E-mail – dimalychov@gmail.com

ID ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-3231-5985>

INCREASING THE EFFICIENCY OF URBAN ELECTRIC TRANSPORT USING SADT METHODOLOGY

D. Lychov

O.M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, Ukraine

The issue of increasing the efficiency of urban electric transport through the introduction of CASE-technologies based on SADT-methodology is considered. The performance of the system analysis of the operation of urban electric transport is given. The system of urban electric transport is considered not as an isolated system that solves only its problems - making a profit, but in connection with the problems of the city, the population that uses transport services, enterprises that employ people who transport. The proposed methodology will allow to create a computer functional model of operation of electric vehicles in the IDEF0 format using the software package BPWin. It is shown that the operation of transport is a complex process consisting of three subsystems: operation management, commercial and technical operation. Each of these subsystems has its own functional tasks, which require appropriate resources. Therefore, to ensure resource conservation in the operation of rolling stock, the following levels of development are presented and considered: the city transport system, urban electric transport enterprises, technological processes of passenger transportation, maintenance, maintenance and repair of facilities and equipment. Also operation of city electric transport includes maintenance of vehicles in depot. This article describes the features of the impact of the rolling stock of urban electric transport on energy consumption, taking into account the influence of factors such as passenger cabin occupancy, mileage of the mobile unit when operating on the routes of large cities, operating speed. A new methodology for evaluating the work of a city electric transport company is presented, which allows to combine several different, economically independent enterprises into one functional model. It is shown that the use of the proposed model will make it possible to create a system of accounting for electricity consumption by different types of urban electric transport.

Keywords: system, control, movement, transport.