

1. Про енергозбереження: Закон України // Постанова Верховної Ради України №75/94-ВР від 01.07.1994.
2. Енергозбереження – пріоритетний напрямок державної політики України / Ковалко М.П., Денисюк С.П. / Відп. ред. Шидловський А.К. – К.: УЕЗ, 1998. – 506 с.
3. Левковець П.Р., Гедз Ю.М., Канарчук О.В., Кришан Г.Л., Сендак М.Д. Системна ефективність на транспорті. Методи, моделі і стратегії / Під ред. П.Р.Левковця. – К.: НТУ, ІЕБТ, 2002. – 216 с.
4. Кельман І.І. Основи забезпечення системної ефективності експлуатаційних властивостей автобусів. – Львів: НВП “Мета”, 2001. – 200 с.
5. Тартаковський Е.Д., Бабанін О.Б. Формалізація задач матеріально-технічного забезпечення при технічному обслуговуванні локомотивів // Рухомий склад та спеціальна техніка залізничного транспорту. Вип. 46. – Харків: ХарДАЗТ. – С. 5-8.
6. Гетьман Г.К. Моделирование рационального парка технических объектов // Информационно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 1999. – № 1. – С. 3-6.
7. Будниченко В.Б., Далека В.Х., Карпушин Е.І., Хворост М.В. Планування потреби в електроенергії на експлуатацію міського електротранспорту за узагальненими статистичними даними // Коммунальное хозяйство городов: Науч.-техн. сб. Вип. 30. – К.: Техніка, 2001. – С.249-254.
8. Евдокимов А.Г., Тевяшев А.Д. Оперативное управление потокораспределением в инженерных сетях. – Харьков: Вища школа, 1980. – 144 с.
9. Маклаков С.В. ВРwin и ERwin. CASE-средства разработки информационных систем. – М.: ДИАЛОГ-МИФИ, 2001. – 304 с.

Отримано 15.02.2003

УДК 656(1-21) : 681.5 + 658.58

В.Б.ДУДКО, Б.І.МОКІН, д-р техн. наук, М.П.РОЗВОДЮК
Вінницький державний технічний університет

МАТЕМАТИЧНІ МОДЕЛІ СПОЖИВАННЯ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ ТРАМВАЯМИ

Приводяться основні результати синтезу математичних моделей емпіричних законів розподілу споживання електроенергії трамваями і математичних моделей прогнозу споживання електроенергії трамваями на маршрутах.

Оскільки трамвайний парк відноситься до розряду найбільших споживачів електроенергії в кожному місті, де він є, то актуальною є задача мінімізації витрат електроенергії на кожний трамвай, що працює на маршруті.

Для контролю електроспоживання трамваями Вінницького трамвайно-тролейбусного управління (ТТУ) в кабінах водіїв кожного з вагонів встановлено лічильники електроенергії. Це дозволяє визначити, по-перше, в якому технічному стані знаходиться той чи інший вагон, по-друге, дає можливість, крім економії електроенергії, своєчасно попередити вихід з ладу трамвая, і, по-третє, оцінити ступінь кваліфікації водія трамвая.

Спостереження за водіями трамваїв Вінницького ТТУ показали, що витрати електроенергії значною мірою залежать від кваліфікації водіїв і можуть відрізнятись при роботі на одному і тому ж маршруті дуже суттєво, а в окремих випадках – навіть у два рази.

Щоб стимулювати бажання водіїв трамваїв підвищувати свою кваліфікацію і знижувати витрати електроенергії на маршруті, керівництво Вінницького ТТУ запровадило систему преміювання за економію електроенергії. Але ця система не ґрунтується на чіткій шкалі, котра не викликала б незгоди водіїв з рішеннями керівництва. Тому необхідно створити об'єктивну базу знань про роботу кожного водія трамвая ТТУ в цілому і методологію її оцінки за критерієм витрат електроенергії на функціонування трамваїв під час роботи на маршрутах. Синтезу математичних моделей, як першому кроку в побудові методології, присвячена ця робота.

1. *Емпіричні закони розподілу споживання електроенергії трамваями.* Для аналізу використовують усереднені статистичні дані споживання електроенергії трамваями помісячно. Аналіз питомого споживання електроенергії трамваями здійснено як за годину, так і на 1 км пробігу.

У роботі [1] встановлено, що для об'єктивності оцінок треба брати подвійну восьмимісячну вибірку статистичних даних, що включає лише по одному періоду весна/осінь. Тому сформуємо вибірку, що містить в собі середні значення споживання електроенергії трамваями з 1 лютого по 30 вересня 1999 р., з 1 червня 2000 р. по 31 січня 2001 р.

Величини середнього споживання електроенергії трамваями за годину та на 1 км пробігу за вищевказані періоди відповідно набули таких значень:

$$z = \{45,52; 47,70; 41,48; 39,99; 36,91; 35,46; 34,78; 33,95; 33,74; 33,76; 33,06; 33,43; 34,37; 36,48; 33,42; 38,06\}, \quad (1)$$

$$b = \{3,37; 3,53; 3,09; 2,89; 2,73; 2,54; 2,46; 2,41; 2,34; 2,35; 2,29; 2,33; 2,39; 2,62; 2,41; 2,72\}. \quad (2)$$

Варіаційні ряди вибірок (1), (2) електроспоживання трамваями приведені в табл.1, 2, а гістограми варіаційних рядів – на рис.1, 2.

Проаналізувавши вид гістограм (рис.1, 2), висунули гіпотези про логарифмічний нормальний закон розподілу споживання електроенергії трамваїв як за годину, так і на 1 км пробігу. Для перевірки гіпотез використано χ^2 -критерій Пірсона.

Таблиця 1 – Варіаційний ряд вибірки (1) електроспоживання трамваями за годину

i	Інтервали	$n_{(z)i}$	$P_{(z)i}$
1	[33 – 36)	9	0,5625
2	[36 – 39)	4	0,25
3	[39 – 42)	1	0,0625
4	[42 – 45)	0	0
5	[45 – 48)	2	0,125
Сума		16	1

Таблиця 2 – Варіаційний ряд вибірки (2) електроспоживання трамваями на 1 км пробігу

i	Інтервали	$n_{(b)i}$	$P_{(b)i}$
1	[2,1 – 2,4)	5	0,3125
2	[2,4 – 2,7)	5	0,3125
3	[2,7 – 3,0)	3	0,1875
4	[3,0 – 3,3)	1	0,0625
5	[3,3 – 3,6)	2	0,125
Сума		16	1

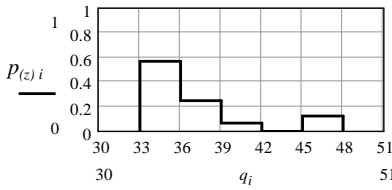


Рис.1 – Гістограма варіаційного ряду вибірки електроспоживання трамваями за годину

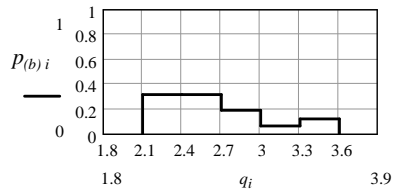


Рис.2 – Гістограма варіаційного ряду вибірки електроспоживання трамваями на 1 км

У роботі [2] встановлено, що споживання електроенергії трамваями за годину і на 1 км пробігу підпорядковуються нормальному логарифмічному закону розподілу у вигляді

$$f(\bar{z}) = \frac{1}{\sigma_{\bar{z}} \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{\bar{z} - m_{\bar{z}}}{\sigma_{\bar{z}}} \right)^2}; \quad (3)$$

$$\bar{z} = 10 \lg z \quad (4)$$

із статистичними оцінками для електроспоживання за годину

$$m_{\bar{z}} = 15,633; \quad D_{\bar{z}} = 0,194; \quad \sigma_{\bar{z}} = 0,441, \quad (5)$$

що мають довірчі інтервали з довірчою імовірністю $\gamma = 0,98$

$$15,329 \leq m_{\bar{z}} \leq 15,967; \quad 0,118 \leq D_{\bar{z}} \leq 0,691; \quad 0,344 \leq \sigma_{\bar{z}} \leq 0,831 \quad (6)$$

і з статистичними оцінками для електроспоживання на 1 км пробігу

$$m_{\bar{b}} = 4,201; \quad D_{\bar{b}} = 0,347; \quad \sigma_{\bar{b}} = 0,589, \quad (7)$$

що мають довірчі інтервали з довірчою імовірністю $\gamma = 0,98$

$$3,818 \leq m_{\bar{b}} \leq 4,584; \quad 0,17 \leq D_{\bar{b}} \leq 0,936; \quad 0,412 \leq \sigma_{\bar{b}} \leq 0,967. \quad (8)$$

2. *Математичні моделі прогнозу споживання електроенергії трамваями на маршрутах.* Для дослідження вибрали двох водіїв, трамвай яких за однаковий проміжок часу в середньому споживають мінімальну і максимальну кількості електроенергії. Назвемо їх, відповідно, водій “Ч”, трамвай якого споживає електроенергію $W_t^{(Ч)}$, і водій “К”, трамвай якого споживає електроенергію $W_t^{(К)}$. Побудуємо також математичну модель і “усередненого” водія депо “Д”, трамвай якого споживає електроенергію $W_t^{(Д)}$.

Як статистичні дані візьмемо величини спожитої електроенергії трамваями обох водіїв протягом одного й того ж періоду, тобто виберемо такі місяці, протягом яких і водій “Ч”, і водій “К” працювали без простоїв і відпусток, а також статистику споживання електроенергії трамваями по депо в цілому за цей же період. Враховуючи такі міркування, можемо вибрати із відповідних відомостей по трамвайному депо річну статистику з 1 липня 2000 р. по 30 червня 2001 р.

Споживання електроенергії трамваями обох водіїв і “усередненого” водія “Д” депо за вказаний період можна наочно проілюструвати за допомогою рис.3.

Споживання електроенергії “усередненим” трамваем депо відображається часовим рядом

$$W_t^{(Д)} = \{ 33,76; 33,06; 33,43; 34,37; 33,42; 36,48; \\ 38,06; 39,06; 35,4; 34,51; 33,91; 32,93 \}. \quad (9)$$

У результаті розрахунків в роботі [4] встановлено, що споживання електроенергії “усередненим” трамваем депо адекватно описується авторегресійною моделлю 6-го порядку у вигляді

$$\tilde{W}_t^{(Д)} = -0,307\tilde{W}_{t-1}^{(Д)} - 0,586\tilde{W}_{t-2}^{(Д)} - 0,866\tilde{W}_{t-3}^{(Д)} - 0,482\tilde{W}_{t-4}^{(Д)} - \\ - 0,444\tilde{W}_{t-5}^{(Д)} - 0,514\tilde{W}_{t-6}^{(Д)} + a_t^{(Д)} \quad (10)$$

з дисперсією білого шуму $\sigma_a^{(Д)2} = 0,5$ і трендом

$$\mu_t^{(Д)} = 34,818 + 2,215 \cdot \sin(0,524 \cdot (t - 1) - 1,571). \quad (11)$$

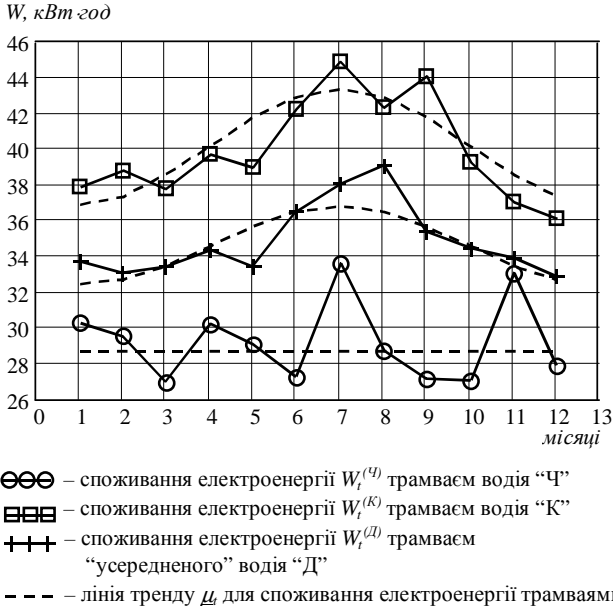


Рис.3 – Споживання електроенергії трамваями протягом досліджуваного періоду

Споживання електроенергії трамваем водія “Ч” описується часовим рядом

$$W_t^{(Ч)} = \{30,34; 29,58; 26,98; 30,2; 29,13; 27,21; 33,63; 28,7; 27,14; 27,05; 33,07; 27,92\}. \quad (12)$$

У результаті розрахунків в роботі [4] показано, що для ряду (12) достатньо адекватним є тренд

$$\mu_t^{(Ч)} = 28,733 + 0,021 \cdot \sin(0,524 \cdot (t - 1) - 1,571) \quad (13)$$

і авторегресійна модель 4-го порядку у вигляді

$$\tilde{W}_t^{(Ч)} = -0,458\tilde{W}_{t-1}^{(Ч)} - 0,343\tilde{W}_{t-2}^{(Ч)} + 0,013\tilde{W}_{t-3}^{(Ч)} + 0,298\tilde{W}_{t-4}^{(Ч)} + a_t^{(Ч)} \quad (14)$$

з дисперсією білого шуму $\sigma_a^{(Ч)2} = 3,6$.

Споживання електроенергії трамваем водія “К” описується часовим рядом

$$W_t^{(К)} = \{37,92; 38,87; 37,85; 39,72; 39,04; 42,27; 44,94; 42,38; 44,1; 39,25; 37,1; 36,13\}. \quad (15)$$

У результаті розрахунків в роботі [4] також встановлено, що для ряду (15) достатньо адекватним є тренд

$$\mu_t^{(K)} = 40,139 + 3,24 \cdot \sin(0,524 \cdot (t - 1) - 1,571) \quad (16)$$

і авторегресійна модель 4-го порядку

$$\tilde{W}_t^{(K)} = -0,277\tilde{W}_{t-1}^{(K)} - 0,056\tilde{W}_{t-2}^{(K)} - 0,381\tilde{W}_{t-3}^{(K)} - 0,769\tilde{W}_{t-4}^{(K)} + a_t^{(K)} \quad (17)$$

з дисперсією білого шуму $\sigma_a^{(K)2} = 0,75$.

Висновки

Показано, що споживання електроенергії трамваями підпорядковується нормальному логарифмічному закону. Визначено довірчі інтервали для статистичних оцінок, що характеризують електроспоживання трамваями.

Побудовано математичні моделі процесу споживання електроенергії трамваями як для “усередненого” трамвая депо, так і для двох трамваїв, якими керують водії з найкращою і найгіршою кваліфікацією. Синтезовані моделі дозволяють врахувати стохастичність споживання електроенергії трамваями і сезонність роботи.

Поставлено задачу створення методології об’єктивної оцінки роботи водіїв трамваїв за критерієм витрат електроенергії на функціонування трамваїв на маршрутах, що буде розв’язана в подальших дослідженнях і на основі якої буде розроблена система преміювання за економію електроенергії водіями.

1. Мокін Б. І., Бурденюк С. І., Гурильова Н. В. Математичні моделі емпіричних законів розподілу несправностей функціональних систем трамваїв // Вісник ВПІ. – 2001. – №1. – С. 13-20.

2. Дудко В.Б., Мокін Б.І., Розводюк М.П. Математичні моделі емпіричних законів розподілу споживання електроенергії трамваями // Вісник ВПІ. – 2002. – №5. – С. 42-46.

3. Дудко В.Б., Мокін Б.І., Розводюк М.П. Математичні моделі прогнозу споживання електроенергії трамваями на маршрутах // Вісник ВПІ. – 2002. – №6.

Отримано 12.02.2003

УДК 656.345

С.М.ЕСАУЛОВ, канд. техн. наук, А.С.КАНОВЧЕНКО, В.А.КАПЛИЕНКО
Харьковская государственная академия городского хозяйства

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПЕРЕВОЗКИ ПАССАЖИРОВ ПРИ ПОСТРОЕНИИ МАРШРУТНОГО РАСПИСАНИЯ

Рассматривается применение математического моделирования перевозки пассажиров несколькими видами городского транспорта и использование результатов оптимизации для корректировки маршрутного расписания с целью повышения экономиче-