

## НОРМУВАННЯ ВИТРАТ ЕНЕРГІЇ НА МІСЬКОМУ ЕЛЕКТРОТРАНСПОРТІ

**Вступ.** Міський електричний транспорт є одним з масштабних споживачів електроенергії в містах і зменшення витрат енергії на рух трамвайних вагонів і тролейбусів має загальнодержавне значення. Головною передумовою практичного розгортання енергозощаджуючої експлуатації є запровадження індивідуального обліку витрат електроенергії рухомими одиницями, але його реалізація донедавна була неможлива у першу чергу з-за відсутності належних електролічильників. Наразі ця перешкода знята, проте одне лиш встановлення лічильників за відсутності методики визначення часток, що характеризують роботу водіїв в плані енергозбереження, проблему не вирішує. Тому дослідження, які мають на меті використання людського фактору для зменшення витрат електроенергії на рух, є актуальними.

**Постановка завдання дослідження.** Відомо, що перегін заданої довжини за заданий час можна пройти безліччю варіантів, серед яких є варіант з найменшими за даних умов витратами електроенергії. Наприклад, на проходження за 45 с. тролейбусом ЗиУ-9 простого, без перехресть, світлофорів та інших причин гальмувань, перегону у 350 м при швидкості першого розбігу  $V_p = 11,5$ , швидкості закінчення вибігу  $V_1 = 9,0$  та швидкості повторного розбігу  $V_2 = 11$  м/с і швидкості початку гальмування  $V_a = 8$  м/с потрібно здійснити механічну роботу  $A_{\text{мех}} = 2300$  кВтс, а при  $V_p = 11,0$ ,  $V_1 = 10$  та  $V_2 = 11,5$  м/с і тій же тривалості - усього 2080 кВтс, тобто на 10,7% менше. Отже серед комбінацій швидкостей по ділянках руху існують набори  $V^* = \{V_p, V_1, V_2, V_a\}$  з простору

дійсних позитивних значень  $\mathfrak{R}^{V_p, V_1, V_2, V_a}$ , які забезпечують мінімуми цільовим функціям  $\Phi(V^*)$ , що визначають механічну роботу  $A_i$  (С<sub>і</sub>, Т<sub>і</sub>) при проходженні перегонів за умови дотримання обмежень

$\Lambda_i : \Phi(V^*) = \min_{V \in \Omega} \Phi(V)$ ,  $\Omega = \{V : V \in \mathfrak{R}^{V_p, V_1, V_2, V_a}; \Lambda_i(V) = 0, i = 1, 2, \dots, m; V_j \geq 0, j = \overline{1, 4}\}$ . Функції обмежень  $\phi(V)$

означають вимогу проходження перегону довжиною  $S_n$  за час  $T_n$ , а також природне співвідношення швидкостей  $V_p \geq V_1; V_2 \geq V_a$ .

Відшукувані значення швидкостей отримують за узагальненим методом невизначених множників Лагранжа з системи диференціальних рівнянь тягового електроприводу виду:

$$\frac{\partial}{\partial V} (\Phi(V) + \sum_{i=1}^m \Lambda_i \phi_i(V_p, V_1, V_2, V_a)) = 0.$$

Для практичних розрахунків тягову при розбігу та гальмівну при службовому гальмуванні характеристики рухомої одиниці апроксимують квадратичними трьохчленами [1]. Отже зменшення енергоспоживання зводиться до реалізації лівих меж функцій розподілень витрат енергії на рух, для чого треба обґрунтувати норми енергоспоживання та зв'язувати зв'язок енергозощадження з якістю роботи водіїв.

**Матеріали дослідження.** Відповідно до періодичності визначення звітних показників, зіставлення зафіксованих електролічильником фактичних витрат енергії  $Q_i$  даною рухомою одиницею під керуванням даного (і – го) водія з нормою має проводитися за підсумками роботи за місяць. При цьому нормування повинно враховувати дію чинників, які об'єктивно впливали на енергоспоживання всіх одиниць саме на даному маршруті і на даному відрізку часу, тобто виникає ідея адаптивного нормування, коли норми призначаються для щоразу інших умов.

В різні періоди доби вага рухомої одиниці збільшується або зменшується згідно зі змінами пасажирського наповнення салонів, і паралельно зі змінами пасажирського наповнення відбуваються зміни умов руху, так що зі збільшенням наповнення збільшуються імовірності виникнення ситуацій, які примушують водія керувати рухомою одиницею неоптимально. Показником, з яким корелюються зміни умов руху протягом доби, є погодинні заповненості салону, за якими можна встановити осереднене за місяць відхилення від середньодобового коефіцієнта збільшення маси рухомої одиниці  $k(\lambda)_i$ . Нормативи питомого, на одиницю пробігу, енергоспоживання мають визначатися через середній норматив, помножений на відповідний відпрацьованим робочим змінам даного водія коефіцієнт:

$$q_{i \text{ од } (e)} = q_{\text{н\ddot{o}}} \cdot k(\lambda)_i, \quad k(\lambda)_i = \frac{1 + \lambda_i}{1 + \lambda_c}.$$

Коефіцієнти  $k(\lambda)_i$  визначаються за центрованою відносно середнього  $\lambda_c$  ступінчастою функцією накопичених відсотків погодинних кількостей пасажирів у салоні рухомої одиниці (інтегральною добовою функцією наповнення) на даному маршруті за період роботи транспорту у даному місті. Для кожного водія протягом місяця встановлюється тривалість середньої зміни  $T_c(i)$ , як різниця між середнім за місяць терміном закінчення зміни та середнім терміном початку. Визначення коефіцієнтів  $k(\lambda)$  полягає у підрахунку різниць між визначених

центрованою ступінчастою функцією значень сум коефіцієнтів  $\sum k(\lambda)$  при закінченнях й на початках змін, з наступним діленням результату на тривалість середньої зміни за цей місяць.

Уявлення про діапазон різниць між фактичними витратами та нормами можна отримати з таблиці, де наведені дані по витратах енергії кількох водіїв одного маршруту трамвайного депо м. Вінниці у березні 2005 року. Як видно, перший з них мав суттєву перевитрату (до 24% від норми), хоч його середня зміна припадає головню на міжпіковий період, на відміну від третього, який зекономив до 16% за приблизно тих же умов. Ще більш показовим є зіставлення даних першого водія (перевитрата у 36%), що працював з меншим ( $k(\lambda) < 1$ ) завантаженням, та четвертого (економія у 12%), у якого умови руху були важчі.

Таблиця 1.

№. № водіїв по вагонах	Середн. Час початку, год. □ не.	Середній час закінч. Год., □ не.	Середня зміна, г.хв.	$k(\lambda)$	Пробіг, км	Спожито, кВтгод.	Індивід. Норматив, кВтгод/км	Норма за □ не. Нормативом кВтгод.	Перевитрата, економія, кВтгод.
2-151	8.19	14.18	5.59	0,981	1638,8	5894,5	2,645	4334,6	+1560,0
4-217	5.58	14.02	8.04	1,16	1413,5	2996,6	3,128	4421,4	-534,0
3-220	9.03	15.21	6.18	0,959	1316,4	2832,7	2,586	3404,2	-571,5
1-219	8.49	15.40	6.51	0,863	1449,2	4189,3	2,327	3372,3	+817,0
5-212	7.57	15.46	7.49	0,912	1641,0	4086,1	2,459	4036,3	+49,8

Якби усі водії мали однакові кваліфікації та спрямованості на енергозаощадження, то витрати енергії за показаннями лічильників дорівнювали б нормам енергоспоживання, або були б менші. Очевидно, що розбіжності обумовлені особистісними якостями водіїв, що можна відобразити моделлю залежності результату від якісних характеристик людини-оператора. Такою моделлю є модель вхід-вихідних співвідношень [2], у якій внутрішні зв'язки, крім залежностей у вигляді функцій дійсних змінних, можуть бути описані стохастичними, лінгвістичними та іншими функціями.

Входом системи перетворення об'єктивної можливості енергозаощадження до здійсненої енергоекономії  $E$  є умови експлуатації:  $W$  – звивистість траси маршруту, довжини перегонів, ухили, сезон, температура тощо. Згортокою  $W * G_1$  з оператором складності реалізації енергозбереження  $G_1$  визначається незалежний від кваліфікації та спрямованості водіїв на енергозаощадження потенціал економії. Спрямованість на енергозаощадження через оператор  $G_3$  визначається дієвістю стимулювання  $C = (D + B) - Q_n * G_4$ , залежного від норми  $\square$  енергоспоживання  $Q_n$  та її ваги у калькуляції собівартості, суми сплат за електроенергію з доходу  $D$  та бюджетної дотації  $B$ . Числова оцінка кваліфікації водія  $K$  при цьому виступає як коефіцієнт негативного зворотного зв'язку – чим менше  $1/K$ , тобто чим вище кваліфікація, тим більшу частку від обсягу  $Q$  водій може заощадити.

Відповідно до нечітких оцінок лінгвістичних змінних щодо впливу кваліфікації, спрямованості на енергозаощадження та дієвості стимулювання, отримуємо підсумкову оцінку ролі якості управління через оператор  $G_2$ :

$$\hat{A} = \{ W * G_1 + (1 / \hat{E}) \cdot Q - [(\hat{A} + \hat{A}) - Q_i * G_4] * G_3 \} * G_2.$$

Застосовуючи операцію зняття нечіткості і заміни лінгвістичних змінних дійсними числами, можна встановити числову оцінку перспектив енергозаощадження при наявних характеристиках якості контингенту водіїв та визначити напрямки зусиль з її підвищення.

#### Література.

1. Карпушин Е.І. Визначення оптимальних за витратами енергії показників керування рухомою одиницею міського електротранспорту на простому перегоні. Коммунальное хозяйство городов - К.: Техніка. - 2002. – С. 240 – 244.
2. Дезоер Ч., Видьясагар М. Системы с обратной связью: вход-выходные соотношения. – М.: Наука, 1983. – 280 с.