

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

ХАРКІВСЬКА НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до практичних робіт з дисципліни

**«ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ ТА ЕНЕРГЕТИЧНИЙ
МЕНЕДЖМЕНТ»**

Частина I

(для студентів усіх форм навчання і слухачів другої вищої освіти
за напрямом 6.050702 (0922) «Електромеханіка»)

**ХАРКІВ
ХНАМГ
2009**

Методичні вказівки до практичних робіт з дисципліни «Енергозбереження та енергетичний менеджмент». Частина I (для студентів усіх форм навчання і слухачів другої вищої освіти за напрямом 6.050702 (0922) «Електромеханіка») / Харк. нац. акад. міськ. госп-ва; уклад.: В. Х. Далека, Н. В. Гарбуз, О. С. Гордієнко. – Х.: ХНАМГ, 2009. – 31 с.

Укладачі: проф., д.т.н. В. Х. Далека,
Н. В. Гарбуз,
О. С. Гордієнко

Рецензент: доц., к.т.н. В. П. Андрійченко

Рекомендовано кафедрою електричного транспорту,
протокол № 9 від 13.03.2009 р.

ЗМІСТ

	Стор.
ПЕРЕДМОВА.....	4
1. Методика розрахунку галузевих норм питомих витрат електроенергії на власні потреби підприємств МЕТ.....	5
1.1. Методика розрахунку норм питомих витрат електроенергії для тролейбусного і трамвайного ремонтно - експлуатаційного депо.....	6
1.2. Методика розрахунку норм питомих витрат електроенергії на власні потреби колійного господарства за рік.....	9
1.2..1 Індивідуальні норми витрат електроенергії на обігрів однієї стрілки.....	10
1.2.2. Індивідуальні норми питомих витрат електроенергії на автоматичний перевід стрілок.....	10
1.3. Методика розрахунку норм питомих витрат електроенергії на власні потреби енергогосподарства.....	12
1.4. Методика розрахунку загальних норм питомих витрат електроенергії на власні потреби підприємства міського електричного транспорту.....	13
2. Методика встановлення норм витрат електроенергії трамвайними вагонами та тролейбусами.....	13
2.1. Планування витрат електроенергії	14
2.2 Оцінка витрат електроенергії.....	15
2.3. Розподіл електроенергії між трамваєм та тролейбусом	17
3. Визначення питомих витрат електроенергії трамвайними вагонами.....	24
3.1. Умови проведення випробувань з визначення витрат електроенергії.....	24
3.2. Порядок проведення випробувань	26
3.2.1. Випробування для визначення витрат енергії вагоном під час розгону.....	26
3.2.2. Випробування для визначення рекуперованої енергії під час електричного гальмування трамвайного вагона.....	26
3.2.3. Особливості випробувань при застосуванні лічильників електроенергії	26
3.3. Обробка результатів випробувань	27
3.4. Порівняння трамвайних вагонів за показниками ефективності використання електроенергії та питомих витрат	27
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	31

ПЕРЕДМОВА

Мета дисципліни „Енергозбереження та енергетичний менеджмент” - формування у студентів цільової настанови на досягнення господарського результату мінімальними засобами на основі знання техніко-економічних взаємозв'язків між складовими споживаних при цьому енергетичних та матеріальних ресурсів.

Практичні роботи розширюють і поглиблюють теоретичні знання, дозволяють набути досвіду самостійного вивчення техніко-економічних взаємозв'язків складових виконуваної транспортної роботи і складових споживаних при цьому енергетичних та матеріальних ресурсів і методів їхнього зниження.

Ці методичні вказівки розроблені відповідно до програми дисципліни „Енергозбереження та енергетичний менеджмент”. Методичні вказівки призначені для студентів спеціальності 6.092200 – «Електромеханічні системи автоматизації та електропривод» при виконанні практичних робіт з дисципліни „Енергозбереження та енергетичний менеджмент”.

1. МЕТОДИКА РОЗРАХУНКУ ГАЛУЗЕВИХ НОРМ ПИТОМИХ ВИТРАТ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ НА ВЛАСНІ ПОТРЕБИ ПІДПРИЄМСТВ МЕТ

Норми питомих витрат розраховуються відповідно до ГКН 02.05.020–2004 „Питомі витрати електроенергії на власні потреби підприємств міського електротранспорту”.

Власні потреби підприємств (ВП) – витрати електроенергії для забезпечення нормальної виробничої діяльності підприємств міського електричного транспорту за виключенням витрат пасажирським рухомим складом.

Структурні підрозділи підприємств міського електротранспорту, витрати електроенергії на власні потреби яких визначаються:

- тролейбусні або трамвайні ремонтно-експлуатаційні депо;
- колійного господарства;
- енергогосподарства.

Коефіцієнт використання рухомого складу α_B – частка від ділення середнього числа трамвайних вагонів або тролейбусів, які знаходяться в русі – N_p , на їх інвентарну кількість N_i .

Коефіцієнт використання обладнання за часом – кількість годин роботи обладнання за добу. Коефіцієнт використання обладнання за потужністю – відношення реальної потужності до номінальної.

Норми витрат електроенергії на власні потреби підприємств міського електротранспорту класифікуються за такими основними ознаками:

- за ступенем агрегації – індивідуальні та групові;
- за складом витрат – технологічні та загальновиробничі;
- за терміном дії – річні.

Індивідуальна норма витрат електроенергії на власні потреби – норма витрат електроенергії на виробництво одиниці продукції, яка встановлюється за типами або окремими енергоспоживаючими агрегатами, пристроями, машинами, технологічними схемами відповідно до умов виробництва продукції.

Групова норма – норма витрат електроенергії видів енергії на виробництво запланованого обсягу одного найменування продукції згідно з встановленою номенклатурою, або послуг за рівнями планування (депо, енергогосподарство, колійне господарство).

Технологічна норма – норма витрат електроенергії, яка враховує витрати на основні та допоміжні технологічні процеси. При цьому витрати електроенергії на освітлення, опалення, транспорт і кондиціонування повітря не враховуються.

Загальновиробнича норма – норма витрат електроенергії, яка враховує витрати на основні та допоміжні технологічні процеси виробництва та допоміжні потреби виробництва (на опалення, вентиляцію, освітлення та ін.), а також технічно неминучі втрати енергії в перетворювачах, теплових та електричних внутрішніх мережах підприємств, віднесених на виробництво продукції.

Основними методами визначення норм питомих витрат електроенергії є:

- розрахунково-аналітичний метод;
- експериментальний (дослідний);
- розрахунково-статистичний;
- комбінований.

Розрахунково-аналітичний метод передбачає визначення норм питомих витрат електроенергії шляхом розрахунку їх за статтями витрат на основі побудови та аналізу енергетичних балансів окремих агрегатів, установок, систем та в цілому підприємств, а також запланованих заходів з економії електроенергії.

Розрахунково-статистичний метод полягає у визначенні питомих норм з урахуванням статистичних даних про фактичні витрати електроенергії, що впливають на їх величину, прогресивних показників ефективності використання електроенергії, досягнутих на аналогічних виробництвах, а також запланованих заходів з економії електроенергії.

Експериментальний (дослідний) метод полягає у визначенні окремих складових норм на підставі даних, одержаних за результатом випробувань технологічного та енергетичного обладнання (експериментальних вимірювань) з урахуванням запланованих заходів з економії електроенергії.

Випробування повинні бути повними, тобто одночасно охоплювати як основне обладнання так і допоміжні механізми, режими роботи яких повинні відповідати оптимальним, а параметри підведеної енергії – нормативним даним. При цьому технологічний процес повинен проводитись згідно з відповідними технологічними інструкціями (регламентами) та режимними картами.

Комбінований метод поєднує у собі експериментальний (дослідний) та розрахунково-аналітичний методи визначення норм питомих витрат електроенергії.

Для розробки норм питомих витрат електроенергії на підприємствах міського електротранспорту можуть використовуватися розрахунково-аналітичний, комбінований (розрахунково-аналітичний та експериментальний) або розрахунково-статистичний.

Основним методом розробки норм питомих витрат є розрахунково-аналітичний.

1.1. Методика розрахунку норм питомих витрат електроенергії для тролейбусного і трамвайного ремонтно–експлуатаційного депо

Норма питомих витрат електроенергії на власні потреби ремонтно-експлуатаційного депо визначається за формулою

$$W_P = \frac{A_o}{N_P}, \quad (1.1)$$

де N_P – число трамвайних вагонів або тролейбусів, які знаходяться в русі.

A_o - витрати електроенергії всіма споживачами ремонтно-експлуатаційного депо за рік, на загально виробничі потреби, кВт•год

$$A_o = \sum_{j=1}^l A_j \cdot K_j + \sum_{a=1}^k A_a \cdot K_a + \sum_{m=1}^b A_m \cdot K_m + \sum_{c=1}^d A_c \cdot K_c + \Delta W_{mp}, \quad (1.2)$$

де $\sum_{j=1}^l A_j \cdot K_j$ - сумарне значення спожитої електроенергії на власні потреби усіма

споживачами влітку в робочі дні, кВт•год;

l – кількість типів споживачів електроенергії влітку в робочі дні;

K_j – кількість робочих діб за рік влітку, діб;

A_j – кількість спожитої електроенергії за робочу добу влітку, кВт•год/доб;

ΔW_{mp} – втрати електричної енергії в трансформаторах кВт•год за рік.

Значення споживаної електроенергії за робочу добу (літній тариф) визначається розрахунково-аналітичним методом по статтям витрат, передбачених технологічними процесами в депо при технічному обслуговуванні та ремонті рухомого складу в залежності від кліматичних умов місяців, що охоплюють літній період року:

$$A_j = N \cdot n \cdot K_{tl} \cdot K_{nl},$$

де N – встановлена потужність одиниці обладнання, кВт;

n – кількість одиниць однотипного обладнання, що перебуває в роботі;

K_{tl}^* – коефіцієнт використання обладнання за часом влітку в робочі дні, год/доб.;

K_{nl}^{**} – коефіцієнт використання обладнання влітку за потужністю в робочі дні;

$\sum_{a=1}^k A_a \cdot K_a$ – сумарне значення споживаної електроенергії на власні потреби взимку в робочі дні, кВт•год;

k – кількість споживачів електроенергії взимку в робочі дні;

K_a – кількість робочих діб за рік взимку;

A_a – кількість спожитої електроенергії за добу взимку, кВт•год/доб.;

* , ** – коефіцієнти визначаються на кожному підприємстві експериментальним шляхом;

Значення спожитої електроенергії за добу взимку розраховується так:

$$A_a = N \cdot n \cdot K_{tz} \cdot K_{nz},$$

де K_{tz} – коефіцієнт використання обладнання за часом взимку в робочі дні, год/доб.;

K_{nz} – коефіцієнт використання обладнання за потужністю взимку в робочі дні;

$\sum_{m=1}^b A_m \cdot K_m$ – сумарне значення спожитої електроенергії на власні потреби у вихідні літні дні, кВт•год;

b – кількість споживачів електроенергії влітку у вихідні дні;

K_m – кількість вихідних літніх діб в році;

A_m – кількість спожитої електроенергії за вихідну добу влітку, кВт•год/доб.;

Значення спожитої електроенергії за добу у вихідні дні влітку розраховується за рівнянням

$$Am = N \cdot n \cdot K_{\text{вз}} \cdot K_{\text{вл}},$$

де $K_{\text{вл}}$ – коефіцієнт використання обладнання за часом у вихідні дні влітку, год/доб;

$K_{\text{вз}}$ – коефіцієнт використання обладнання за потужністю у вихідні дні влітку;

$\sum_{c=1}^d A_c \cdot K_c$ – сумарне значення споживаної електроенергії на власні потреби у вихідні зимові дні, кВт•год;

d – кількість споживачів електроенергії взимку у вихідні дні.

A_c – кількість споживаної електроенергії за вихідну добу взимку, кВт•год / доб.;

K_c – кількість вихідних зимових днів за рік;

Значення споживаної електроенергії за добу в вихідні дні взимку розраховують так:

$$A_c = N \cdot n \cdot K_{\text{вз}} \cdot K_{\text{вл}},$$

де $K_{\text{вл}}$ – коефіцієнт використання обладнання за часом у вихідні дні взимку, год/доб.

$K_{\text{вз}}$ – коефіцієнт використання обладнання за потужністю у вихідні дні взимку.

Втрати електроенергії в трансформаторах визначають за формулою

$$\Delta W_{\text{тр}} = \Delta P_{\text{хх}} \cdot T_0 + \Delta P_{\text{кз}} \cdot \left(\frac{S_3}{S_n} \right)^2 \cdot T_p, \quad (1.3)$$

де $\Delta P_{\text{хх}}$ – втрати холостого ходу, кВт;

T_0 – кількість годин приєднання трансформатора до мережі живлення за рік;

$\Delta P_{\text{кз}}$ – втрати короткого замикання, кВт;

S_3 – середньорічне навантаження трансформаторів, кВа;

S_n – номінальна потужність трансформаторів, кВа;

T_p – термін роботи трансформатора під навантаженням, год.

Величини T_0 , T_p – визначаються на кожному підприємстві шляхом реєстрації відповідного часу.

Величина S_3 визначається за формулою

$$S_3 = A / T_0,$$

де A визначається за показниками лічильника на вході трансформатора за час T_0 .

Приклад розрахунку норм питомих витрат електроенергії на основі статистичних даних для тролейбусного ремонтно-експлуатаційного депо з інвентарною кількістю тролейбусів $N_i = 200$ одиниць

Вихідні дані витраченої електроенергії на ВП за розрахунковий період наведені в табл. 1.1.

Таблиця 1.1 – Вихідні дані добової витраченої електроенергії на ВП тролейбусного депо.

Назва споживачів ВП тролейбусного депо на 200 одиниць рухомого складу	Кількість споживаної електроенергії за робочу добу, кВт•год.		Кількість споживаної електроенергії за вихідний день, кВт•год.	
	літо	зима	літо	зима
1.Котельня	51,0	507,0	51,0	507,0
2. Компресорна	70,0	70,0	-	-
3. Механічні станки	663,0	663,9	-	-
4. Ковально-пресове обладнання	101,6	101,6	-	-
5. Деревообробне обладнання	102,0	102,0	-	-
6. Канавні підйомники	61,6	61,6	13,2	19,8
7. Підйомні механізми	60,0	60,0	-	-
8. Зварювальне обладнання	375,0	375,0	-	-
9. Обладнання для мийки	235,0	152,0	110,0	55,0
10. Привод воріт	22,8	30,8	16,0	16,0
11. Зовнішнє освітлення	360,0	840,0	360,0	840,0
12. Внутрішнє освітлення	256,3	374,9	110,9	110,9
13.Зарядка АКБ	267,8	287,8	1120,0	120,0
14. Вентиляція примусова		818,0	-	144,0
15. Вентиляція витяжна	163,0	163,0	-	-
Сумарна добова витрата	3200,0	4607,5	901,0	1933,0

Коефіцієнт випуску $\alpha = 0,75$

Кількість рухомого складу, що знаходиться в русі:

$$N_p = N_i \cdot \alpha = 200 \cdot 0,75 = 150 \text{ од}$$

Нормативне значення питомої норми витрат електроенергії на ВП знаходимо за формулою (5.1):

$$W_{pd} = \frac{A_d}{N_p} = \frac{\sum_{j=1}^l A_j \cdot K_j + \sum_{a=1}^k A_a \cdot K_a + \sum_{m=1}^b A_m \cdot K_m + \sum_{c=1}^d A_c \cdot K_c}{N_p};$$

$$W_{pd} = \frac{3200 \cdot 128 + 4607,5 \cdot 128 + 901 \cdot 55 + 1933 \cdot 54}{150} = 8384,5 \text{ кВт} \cdot \text{год} \cdot$$

Задача 1.1 Розрахувати значення питомої норми витрат електроенергії на власні потреби трамвайного депо на 150 од. РС, якщо сумарні добові витрати за місяць складають: 2880,0 кВт•год. влітку в робочі дні, 3991,8 кВт•год. взимку в робочі дні, 700,0 кВт•год. влітку у вихідні й 1543,5 кВт•год. взимку у вихідні. Кількість робочих днів влітку і взимку – 128, вихідних – влітку 55, взимку 54. Коефіцієнт випуску $\alpha = 0,78$.

1.2. Методика розрахунку норм питомих витрат електроенергії на власні потреби колійного господарства за рік

Норму питомих витрат електроенергії на власні потреби колійного господарства визначають за формулою

$$W_{pk} = \frac{A_k}{L_i}, \quad (1.4)$$

де A_k – витрати електроенергії всіма споживачами колійного господарства за рік, кВт•год;

L_i – загальна довжина трамвайної колії в одноколіїному розрахунку, км.

$$A_k = \sum_{j=1}^l A_j \cdot K_j + \sum_{a=1}^k A_a \cdot K_a + \sum_{m=1}^b A_m \cdot K_m + \sum_{c=1}^d A_c \cdot K_c + \Delta W_{mp} \quad (1.5)$$

Складові формули (5.5) подібні до складових формули (5.2).

Значні витрати електроенергії, що припадають на обігрів і перевід стрілок близько 25 %, тому доцільно розрахувати індивідуальні норми питомих витрат електроенергії на ці операції.

1.2.1. Індивідуальні норми витрат електроенергії на обігрів однієї стрілки

Індивідуальна норма витрат електроенергії на обігрів однієї одновістрякової стрілки,

$$Ao_1 = N_1 \cdot T \cdot K_2, \quad (1.6)$$

де Ao_1 – індивідуальна норма витрат електроенергії на обігрів однієї одновістрякової стрілки, кВт•год за рік;

N_1 – встановлена потужність обігрівача для одновістрякової стрілки, кВт;

T – тривалість роботи обігрівача за добу, год/добу;

K_2 – кількість діб роботи обігрівачів за рік.

Індивідуальна норма витрат електроенергії на обігрів однієї двовістрякової стрілки:

$$Ao_2 = N_2 \cdot T \cdot K_2, \quad (1.7)$$

де Ao_2 – індивідуальна норма витрат електроенергії на обігрів однієї двовістрякової стрілки, кВт. год. за рік;

N_2 – встановлена потужність обігрівачів для двовістрякової стрілки, кВт.

1.2.2. Індивідуальні норми питомих витрат електроенергії на автоматичне переведення стрілок

$$An = 365 \frac{Un \cdot In \cdot t_c}{3600} n_c, \quad (1.8)$$

де An – річні витрати електроенергії на автоматичний перевід стрілок, кВт•год;

Un – напруга живлення соленоїдного приводу, В;

In – струм, який споживає соленоїдна котушка приводу, А

t_c – час спрацювання соленоїдного приводу, с;

n_c – середня кількість спрацювань за добу;

365 – кількість діб за рік.

Приклад розрахунку норм питомих витрат електроенергії на основі статистичних даних для колійного господарства міського електротранспорту

Вихідні дані споживаної електроенергії на власні потреби колійного господарства надані в табл. 1.2.

Таблиця 1.2 - Вихідні дані споживаної електроенергії на ВП за рік по основним споживачам колійного господарства із загальною довжиною колій $L=270$ км.

№	Назва споживача ВП колійного господарства	Споживана електроенергія за рік в кВт·год.
1	Верстатне обладнання	214000
2	Освітлення (зовнішнє та внутрішнє)	100000
3	Опалення (котельня)	18000
4	Автоматичний перевід та обігрів стрілок	113000

Встановлена потужність обігрівача для одновістрякової стрілки 1 кВт; тривалість роботи обігрівача за добу 10 год/добу; кількість діб роботи обігрівачів за рік 121. Напруга живлення соленоїдного приводу 600 В; струм, який споживає соленоїдна котушка приводу, 10 А; час спрацювання соленоїдного приводу 1,5 с; середня кількість спрацювань за добу 96.

Нормативне значення питомої норми витрат електроенергії на ВП колійного господарства розраховують за формулою (5.4):

$$W_{pk} = \frac{A_K}{L_i};$$

$$W_{pk} = \frac{21400 + 100000 + 18000 + 113000}{270} = 1648 \text{ кВт} \cdot \text{год} / \text{км},$$

де A_K - сумарні витрати електроенергії на власні потреби (ВП) по всім споживачам колійного господарства, кВт·год за рік;

Індивідуальні норми витрат електроенергії на обігрів одновістрякової стрілки:

$$A_{o1} = N_1 \cdot T \cdot K_2 = 1 \cdot 10 \cdot 121 = 1210 \text{ кВт} \cdot \text{год за рік}.$$

Індивідуальна норма витрат електроенергії на обігрів двовістрякової стрілки:

$$A_{o2} = N_2 \cdot T \cdot K_2 = 2 \cdot 10 \cdot 121 = 2420 \text{ кВт} \cdot \text{год за рік}.$$

Нормативне значення витрат електроенергії на автоматичний перевід вістряків стрілок:

$$A_n = \frac{U_n \cdot I_n \cdot t_c}{3600} \cdot n_c \cdot 365 = \frac{600 \cdot 10 \cdot 1,5}{3600} \cdot 96 \cdot 365 = 87,6 \text{ кВт} \cdot \text{год за рік}.$$

Задача 1.2. Розрахувати значення питомої норми витрат електроенергії на власні потреби колійного господарства, якщо кількість спожитої за рік складає 356780 кВт·год по всім споживачам, загальна довжина колій $L=225$ км. Встановлена потужність обігрівача для одновістрякової стрілки 1,2 кВт; тривалість роботи обігрівача за добу 8 год/добу; кількість діб роботи обігрівачів за рік 100. Напруга живлення соленоїдного приводу 600 В; струм, який споживає соленоїдна котушка приводу, 10 А; час спрацювання соленоїдного приводу 1,5 с; середня кількість спрацювань за добу 120.

1.3. Методика розрахунку норм питомих витрат електроенергії на власні потреби енергогосподарства

Норму питомих витрат електроенергії на власні потреби енергогосподарства визначають за формулою

$$W_{pe} = \frac{A_e}{A_n}, \quad (1.9)$$

де A_e - витрати електроенергії на власні потреби всіма споживачами енергогосподарства за рік, кВт•год;

$$A_e = \sum_{j=1}^l A_j \cdot K_j + \sum_{a=1}^k A_a \cdot K_a + \sum_{m=1}^b A_m \cdot K_m + \sum_{c=1}^d A_c \cdot K_c + \Delta W_{mp}. \quad (1.10)$$

Складові формули (5.10) подібні до складових формули (1.2),

A_n - кількість виробленої енергії постійного струму за рік, кВт•год.

Основними споживачами електроенергії на власні потреби енергогосподарства є: джерела освітлення, механічні станки, котельня, апарати, що призначені для забезпечення нормальної роботи перетворювальних агрегатів та іншого силового обладнання тягової підстанції.

Приклад розрахунку норми питомих витрат електроенергії на основі статистичних даних для енергогосподарства міського електротранспорту

Вихідні дані для розрахунку наведені в табл. 1.3

Таблиця 1.3. – Вихідні дані місячних потреб електроенергії на власні потреби (ВП) та загальної перетвореної електроенергії.

Місяць року	Кількість витраченої електроенергії на ВП по всім споживачам, кВт•год	Кількість перетвореної електроенергії, кВт•год
Січень	423,31	12490,8
Лютий	316,55	13465,2
Березень	244,10	11840,1
Квітень	134,65	11599,2
Травень	81,19	11509,2
Червень	59,85	11431,3
Липень	56,83	11431,3
Серпень	56,27	10173,5
Вересень	72,04	12441,7
Жовтень	110,6	11453,5
Листопад	250,83	12375,5
Грудень	296,45	12028,5
Всього за рік	2099	142239

Нормативне значення питомої норми витрат електроенергії на ВП енергогосподарства розраховують за формулою (1.10):

$$W_{pc} = \frac{A_e}{A_n} = \frac{2099}{142239} = 0,015 \cdot$$

На один кВт•год. перетвореної енергії необхідно забезпечити витрати електроенергії на ВП 1,5 %.

Задача 1.3 Розрахувати значення питомої норми витрат електроенергії на власні потреби енергоспоживача, якщо кількість витраченої електроенергії на власні потреби по всім споживачам за рік складає 3000 кВт•год, а кількість перетвореної (виробленої) електроенергії за рік складає 160000 кВт•год

1.4. Методика розрахунку загальних норм питомих витрат електроенергії на власні потреби підприємства міського електричного транспорту

Загальна норма питомих витрат електроенергії на власні потреби підприємств визначаються за формулою

$$W = \frac{A_d + A_k + A_e}{Q_{бр} \cdot L}, \frac{\text{кВт} \cdot \text{год}}{\text{т} \cdot \text{км}}, \quad (1.11)$$

де A_d , A_k , A_e – витрати електроенергії, визначеної за формулами (1.2), (1.5), (1.10);

$Q_{бр}$ – маса типів трамвайних вагонів (тролейбусів) брутто при номінальному наповненні, т;

L – середній пробіг типів трамвайних вагонів (тролейбусів) за рік, км.

Примітка. Номінальне наповнення за ГОСТ 8802, ГОСТ 23772 складає 5 чоловік на 1 м².

Задача 1.4. Розрахувати загальну норму питомих витрат електроенергії на власні потреби підприємства міського електричного транспорту, у якому експлуатується тільки рухомий склад Т-3, якщо середній пробіг трамвайних вагонів за рік складає 5 млн.км. Інші дані взяти із задач 5.1 – 5.3.

2. МЕТОДИКА ВСТАНОВЛЕННЯ НОРМ ВИТРАТ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ ТРАМВАЙНИМИ ВАГОНАМИ ТА ТРОЛЕЙБУСАМИ

Витрати електроенергії трамвайними вагонами та троллейбусами розраховуються за методикою, поданою у ГКН 02.07.005-2001 „Витрати електроенергії трамвайними вагонами й троллейбусами. Нормативи. Метод розрахунку”.

Нормативне значення витрат електроенергії повинно вираховуватися згідно з рівнянням, яке зв’язує витрати електроенергії з факторами, що впливають на обсяг енергоспоживання, а саме:

$$A_p = a_0 + \sum_{j=1}^{j=n} a_j X_j, \quad (2.1)$$

де a_0 – сталий коефіцієнт, який враховує вплив місцевих умов руху на витрати електроенергії;

a_j – коефіцієнти впливу факторів на витрати електроенергії, які аналогічні питомим витратам електроенергії;

n – загальна кількість факторів, що впливають на витрати електроенергії.

Коефіцієнти впливу факторів повинні визначатися методом МНК з використанням програми Microsoft Excel, або іншої програми, яка дозволяє визначити коефіцієнти рівняння і статистичні критерії для перевірки

значущості коефіцієнтів рівняння та наявності зв'язку між факторами та витратами електроенергії.

2.1. Планування витрат електроенергії

Витрати електроенергії на наступний рік повинні визначатися шляхом підстановки планових показників пробігу та кількості перевезених пасажирів у рівняння

$$Y = a_0 + a_1 X_1 + a_2 X_2 + a_3 X_3 + a_4 X_4 \quad (2.2)$$

де a_0, a_1, a_2, a_3, a_4 – значення коефіцієнтів впливу факторів, які надані у табл.2.1 для кожного міста України ($a_1, a_3 = 0$ – для підприємств, що експлуатують тільки тролейбуси; $a_2, a_4 = 0$ – для підприємств, що експлуатують тільки трамваї).

X_1 – планове значення пробігу трамвайних вагонів на наступний рік, тис.км;

X_2 – планове значення пробігу тролейбусів на наступний рік, тис.км;

X_3 – кількість пасажирів, яку планується перевезти у наступному році трамвайними вагонами, тис.пас;

X_4 – кількість пасажирів, яку планується перевезти у наступному році тролейбусами, тис. пас;

Y – витрати електроенергії на пасажирські перевезення, тис. кВт•год.

Довірчий інтервал для рівня фактичних витрат електроенергії повинен визначатися за формулою

$$Y_z = Y_p \pm \Delta_y, \quad (2.3)$$

де Y_z – фактичне значення витрат електроенергії, тис. кВт•год

Y_p – розраховане значення витрат електроенергії, тис. кВт•год;

Δ_y – похибка визначення витрат електроенергії (тис. кВт•год), яка надана у таблиці 2.1.

Примітка. Значення коефіцієнтів встановлені за результатами обробки статистичної інформації про витрати електроенергії кожним підприємством міського електротранспорту за період з 1975-2000 рр.

При формуванні замовлення на електроенергію до енергопостачальної компанії її величина повинна визначатися на рівні максимальної межі довірчого інтервалу, тобто:

$$Y_z = Y_p + \Delta_y \quad (2.4)$$

де: Y_z – обсяг енергії, яка замовляється, тис. кВт•год.

Приклад планування витрат електроенергії

КП “Київпастрас” планує на 2000 рік наступні показники:

Пробіг трамвайних вагонів – 27472 тис.км

Пробіг тролейбусів – 27071 тис.км

Кількість перевезених пасажирів трамваєм 265044 тис.пас

Кількість перевезених пасажирів тролейбусом 306627 тис. пас.

Згідно з п. 2.1 рівняння витрат електроенергії для КП “Київпастрас” має вигляд

$$Y = a_0 + a_1X_1 + a_2X_2 + a_3X_3 + a_4X_4,$$

де a_0, a_1, a_2, a_3, a_4 – значення коефіцієнтів впливу факторів, які надані у табл. 2.1 для кожного міста України ($a_1, a_3 = 0$ – для підприємств, що експлуатують тільки тролейбуси; $a_2, a_4 = 0$ – для підприємств, що експлуатують тільки трамвайні вагони).

X_1 – пробіг трамвайних вагонів, тис.км;

X_2 – пробіг тролейбусів, тис.км;

X_3 – кількість перевезених пасажирів трамваєм, тис.пас.;

X_4 – кількість перевезених пасажирів тролейбусом, тис. пас.;

Y – витрати електроенергії на пасажирські перевезення, тис. кВт•год.

Рівняння буде мати вигляд:

$$Y = -23961,29 + 5,808226X_1 + 0,262185X_2 - 0,046746X_3 + 0,034841X_4$$

Примітка. Значення коефіцієнтів встановлені за результатами обробки статистичної інформації про витрати електроенергії кожним підприємством міського електротранспорту за період з 1975-2000 рр.

Підставляємо планові дані у рівняння, маємо:

$$Y = -23961,29 + 5,808226 \cdot 27472 + 0,262185 \cdot 27071 - 0,046746 \cdot 265044 + 0,034841 \cdot 306627 = 140993 \text{ тис. кВт•год}$$

Для визначення кількості електроенергії, яка повинна бути запланована для забезпечення планових показників транспортної роботи, знайдемо похибку обчислень з таблиці 2.1 для міста Києва ($\Delta y = 13716,36$ тис. кВт•год).

Тоді фактичні витрати електроенергії на виконання транспортної роботи з ймовірністю 0,95 будуть знаходитися у межах

$$Y_{\text{ф}} = Y \pm \Delta y = 140993 \pm 13716,36 \text{ тис. кВт•год.}$$

Величина витрат електроенергії, яка забезпечить виконання планових показників транспортної роботи з ймовірністю 0,95 не повинна перебільшувати:

$$Y_3 = 140993 + 13716,36 = 154709,36 \text{ тис. кВт•год.}$$

Тобто, ця величина витрат електроенергії повинна бути замовлена на 2000 рік.

Задача 2.1. Розрахувати кількість електроенергії, яку необхідно замовити у енергопостачальника підприємству міського електричного транспорту міста Харків, якщо на наступний період планується: пробіг трамваїв і тролейбусів $X_1 = 28000$ тис.км, $X_2 = 11000$ тис.км відповідно, обсяг пасажироперевезень трамваєм і тролейбусом $X_3 = 200000$ тис.пас, $X_4 = 180000$ тис.пас. відповідно.

2.2. Оцінка витрат електроенергії.

По закінченню поточного року підприємство міського електротранспорту повинно провести оцінку витрат електроенергії. Оцінка передбачає визначення наявності перевитрат або економії електроенергії за фактичними показниками пробігу трамвайних вагонів і тролейбусів та кількістю перевезених пасажирів.

Перевитратами електроенергії вважається таке значення витрат, яке перевищує максимальну довірчу межу розрахованих витрат електроенергії для

фактичних показників пробігу та кількості перевезених пасажирів, тобто якщо

$$Y_{\phi} > Y_p + \Delta_y, \quad (2.5)$$

то величина різниці $Y_{\phi} - (Y_p + \Delta_y)$ є перевитратами електроенергії.

У цьому випадку підприємство міського електротранспорту повинно розробити план заходів щодо зменшення витрат електроенергії і реалізувати його у наступному році.

Економією електроенергії вважається таке значення витрат, яке не перевищує мінімальну довірчу межу розрахованих витрат електроенергії для фактичних показників пробігу та кількості перевезених пасажирів, тобто якщо

$$Y_{\phi} < Y_p - \Delta_y, \quad (2.6)$$

то величина різниці $Y_{\phi} - (Y_p - \Delta_y)$ є економією електроенергії.

У разі отримання економії електроенергії підприємство міського електротранспорту має право на матеріальне стимулювання працівників, згідно „Положення про матеріальне стимулювання колективів і окремих працівників підприємств, організацій та установ за економію паливно-енергетичних ресурсів у суспільному виробництві”.

Приклад оцінки витрат електроенергії

КП “Київпаstrанс” в 2000 р. виконало наступний обсяг транспортної роботи:

Пробіг трамвайних вагонів – 27538 тис.км.

Пробіг тролейбусів – 27332 тис.км.

Кількість перевезених пасажирів трамваєм - 245703 тис.пас.

Кількість перевезених пасажирів тролейбусом - 308711 тис. пас.

На виконання цієї транспортної роботи фактично було витрачено:

а) 140000 тис. кВт•год – 1 варіант,

б) 160000 тис. кВт•год - 2 варіант,

в) 100000 тис. кВт•год – 3 варіант.

За рівнянням (2.1) витрати електроенергії на виконання цієї транспортної роботи повинні складати:

$$Y_p = -23961,29 + 5,808226 \cdot 27538 + 0,262185 \cdot 27332 - 0,046746 \cdot 245703 + 0,034841 \cdot 308711 = 142422 \text{ тис. кВт} \cdot \text{год.}$$

З урахуванням похибки (див. рівняння (2.2)) фактичні витрати електроенергії повинні знаходитися в межах

$$Y_{\phi} = Y_p \pm \Delta_y = 142422 \pm 13716,36 \text{ тис. кВт} \cdot \text{год.},$$

тобто максимальне значення витрат повинно складати:

$$Y_{\max} = 142422 + 13716,36 = 156138 \text{ тис. кВт} \cdot \text{год.}$$

Мінімальне значення повинно складати:

$$Y_{\min} = 142422 - 13716,36 = 128706 \text{ тис. кВт} \cdot \text{год.},$$

тобто фактичні витрати електроенергії в наслідок дії факторів, які неможливо врахувати (наприклад, тривалість часу дії низьких температур або похибок в визначенні кількості перевезених пасажирів), з ймовірністю

0,95 будуть знаходитися у межах: 128706–156138 тис. кВт•год.

Враховуючи, що фактичні витрати у першому варіанті склали 140000 тис. кВт•год і знаходяться у межах довірчого інтервалу, говорити про наявність перевитрат або економії електроенергії не можна.

Інша річ, коли фактичні витрати склали б, наприклад, 160000 тис. кВт•год (другий варіант), то можна сказати, що мають місце перевитрати на $160000 - 156138 = 3862$ тис. кВт•год.

У цьому випадку потрібно скласти план заходів, щодо зниження енерговитрат на пасажирські перевезення.

Якщо фактичні витрати електроенергії дорівнювали б 100 000 тис. кВт•год (варіант 3), то можна сказати, що з ймовірністю 0,95 має місце економія електроенергії на

$$128706 - 100000 = 28706 \text{ тис. кВт•год.}$$

Задача 2.2 Оцінити витрати електроенергії підприємством міського електричного транспорту міста Донецьк, якщо фактичні витрати за звітний період склали 100000 тис. кВт•год, пробіг трамваїв і тролейбусів склав $X_1 = 26000$ тис.км, $X_2 = 18000$ тис.км відповідно, обсяг пасажироперевезень трамваєм і тролейбусом $X_3 = 160000$ тис.пас, $X_4 = 190000$ тис.пас. відповідно.

2.3. Розподіл електроенергії між трамваєм і тролейбусом

До введення в дію місцевих комунальних норм підприємства можуть орієнтовно розрахувати розподіл електроенергії між трамваєм та тролейбусом, згідно з рівнянням:

$$Y = b_0 + b_1 X_1 + b_2 X_2, \quad (2.7)$$

де b_0 – коефіцієнт впливу неврахованих місцевих факторів, тис.кВт•год;

b_1 - коефіцієнт впливу пробігу трамвая або тролейбуса на витрати електроенергії, кВт•год/км;

b_2 - коефіцієнт впливу кількості перевезених пасажирів трамваєм або тролейбусом на витрати електроенергії, кВт•год/км;

X_1 – пробіг трамваїв або тролейбусів, тис.км;

X_2 – кількість перевезених пасажирів трамваєм або тролейбусом, тис.км.

Значення коефіцієнтів b_0 , b_1 , b_2 для кожного міста України, в якому експлуатуються трамваї та тролейбуси наведені у табл.2.3.

Приклад розрахунку розподілу електроенергії між двома видами транспорту

Орієнтовно розподіл електроенергії між трамваєм та тролейбусом може бути визначений розрахунком, згідно рівняння (2.7). Значення коефіцієнтів для кожного міста України наведені у табл. 2.3.

Наприклад, для м. Дніпропетровська, з урахуванням значень коефіцієнтів рівняння мають вигляд:

$$\text{Трамвай} - Y = 23727,16 + 0,7968393X_1 + 0,116213X_2; \quad (2.8)$$

$$\text{Тролейбус} - Y = -13677,7 + 3,0123531X_1 + 0,060531X_2. \quad (2.9)$$

Підставляючи значення транспортної роботи (пробіг і кількість перевезених пасажирів), яка була виконана трамваєм у рівняння (2.8) та транспортної роботи, яка була виконана тролейбусом у рівняння (2.9) можна отримати орієнтовно значення кількості електроенергії використаної трамвайним та тролейбусним транспортом окремо.

Точне значення (звісно, з урахуванням похибки) можна отримати тільки у тому випадку, коли енергоживлення трамвая та тролейбуса здійснюється окремо (не має тягових підстанцій, які живлять одночасно тролейбусні та трамвайні маршрути).

Задача 2.2. Розрахувати розподіл електроенергії між трамваєм і тролейбусом для підприємства міського електричного транспорту міста Маріуполь, якщо пробіг трамваїв і тролейбусів склав $X_1=15000$ тис.км, $X_2=10000$ тис.км відповідно, обсяг пасажироперевезень трамваєм і тролейбусом $X_3=75000$ тис.пас, $X_4=96000$ тис.пас. відповідно.

Таблиця 2.1. – Нормативні значення коефіцієнтів рівняння.

Місто України	Значення коефіцієнтів впливу факторів на витрати електроенергії.					Розрахункова похибка, Δ , тис. кВт•год
	Умови руху та інші фактори, a_0 , тис.кВт•год	Пробігу трамвая, a_1 , кВт•год/км	Пробігу тролейбуса, a_2 , кВт•год/км.	Кількості перевезених пасажирів трамваєм, a_3 , кВт•год/пас	Кількості перевезених пасажирів тролейбусом, a_4 , кВт•год/пас	
1	2	3	4	5	6	7
Вінниця	-12216,72	1,863371	2,790684	-0,120264	0,285195	1666.03
Луганськ	4652.539	-0.692726	5.751842	0.088536	-0.188265	1541.46
Стаханов	159.4014	-0.364538	3.096378	0.347836	-0.155319	584.96
Дніпропетровськ	15741.08	0.059849	3.661998	-0.107102	0.334095	4613.08
Кривий Ріг	12481.85	2.107261	1.061754	0.049038	-0.039218	9258.28
Донецьк	-29112.5	4.107048	0.398927	0.356307	0.030837	12822.84
Горлівка	94.29359	-0.805882	5.664347	0.274453	-0.254446	1669.29
Краматорськ	494.0876	0.831834	3.814942	-0.012839	0.001133	1124.00
Макіївка	121.9038	-0.769922	1.468432	0.491576	0.123028	4549.92
Маріуполь	3743.642	1.678681	1.354372	0.00555	0.167045	8378.91
Житомир	7357.427	-1.387622	2.210291	-0.013347	-0.020825	1239.78
Запоріжжя	-973.7855	-0.900796	7.168345	0.026528	-0.022803	6558.74
Львів	3823.572	-0.925715	3.003446	0.001504	0.261589	4466.82
Київ	-23961.29	5.808226	0.262185	-0.046746	0.034841	13716,36
Одеса	-29381.63	1.164417	9.99047	-0.230023	0.1852	7154.81
Миколаїв	-13359.06	-1.210566	10.71832	0.052685	-0.005634	2664.91
Харків	20400.09	-0.484355	4.878779	-0.03618	0.162851	7041.15
Дніпродзержинськ	2970.66	1.9652		0.082444		2735.07
Дружківка	-116.03	2.7772		-0.033099		291.78
Єнакієво	1787.40	2.4084		-0.026156		538.35
Константинівка	2351.92	2.0745		-0.048860		761.92
Євпаторія	4304.88	-1.3336		0.015171		588.89
Конотоп	-367.23	2.9360		-0.004624		402.98
Алчевськ	-1094.12		2.3093		0.028863	1346.91
Луцьк	3523.20		1.1263		0.038926	6.70
Артемівськ	-1533.53		2.9456		0.041357	471.26

Продовження табл. 2.1.

Лисичанськ	229.67		2.1159		-0.014286	345.92
Крим	6905.03		1.4124		0.053956	3288.01
Кіровоград	502.3605		1.4347936		0.0597387	2688.21
Кременчук	943.89		2.0193		0.008634	560.11
Полтава	8829.22		1.4183		-0.056045	1538.33
Суми	613.42		1.6652		0.070897	1164.15
Рівне	2722.71		1.4795		0.000361	1066.13
Севастополь	8012.75		1.7833		-0.013565	1606.93
Херсон	5163.03		1.7727		-0.004735	661.62
Черкаси	3157.83		1.6617		-0.029476	1661.54
Хмельницький	500.24		2.4219		-0.003990	1223.67
Чернігів	2195.20		2.1339		0.001843	2089.49
Чернівці	2791.75		-0.6061		0.267529	4018.49
Северодонецьк	1033.48		1.8961		0.006129	968.10
Слов'янськ	2992.14		-0.0624		0.083809	940.47
Тернопіль	4058.538		1.103593		0.028049	609.73
Івано-Франківськ	288.7334		1.628669		0.017687	330.72
Антрацит	-221.56		2.6976		-0.005987	248.20
Краснодон	-808.20		1.9213		0.079961	586.56
Біла Церков	-1150.58		2.9076		0.010499	340.11
Дзержинськ	-643.35		1.6823		0.222147	308.29
Харцизьк	128.32		1.9265		0.038261	177.60
Вуглегорськ	-185.513		1.883355		0.123176	51.08

Таблиця 2.2. – Діапазон зміни факторів.

Місто України	Пробіг трамваїв, тис. км		Пробіг тролейбусів, тис. км		Кількість перевезених пасажирів трамвайними. вагонами, тис. пас.		Кількість перевезених пасажирів тролейбусами, тис. пас.	
	min	max	min	max	min	max	min	max
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Вінниця	2003	8154	4752	11450	35440	110541	31311	111982
Луганськ	1659	11928	1526	7772	10425	73820	9911	76884
Стаханов	234	2752	567	1939	3327	15917	5920	26201
Дніпропетровськ	11076	27645	10190	19248	38574	201659	40519	176951
Кривий Ріг	4964	14787	5725	14312	31586	112172	19256	105547
Донецьк	5172	17809	797	27700	87350	178025	104988	199500
Горлівка	1092	9881	1376	4523	9112	51506	8267	33180
Краматорськ	553	2894	783	16610	3101	31788	9522	75079
Макіївка	619	7713	794	9715	4880	39106	5805	44046
Маріуполь	3888	16690	881	10272	15546	753313	23146	98533
Житомир	998	2204	3564	14214	6554	128034	16203	113351
Запоріжжя	8224	21632	7898	15883	16529	117647	18497	116014
Львів	3365	12651	4022	12948	49336	164729	35581	119782
Київ	21978	58706	5582	75989	94246	551994	9867	646902
Одеса	7558	32604	6020	16322	84032	388582	84628	174449
Миколаїв	3015	10446	2519	6086	13433	81630	12641	482716
Харків	16375	50164	12224	40338	42454	384190	48890	363008
Дніпродзержинськ	2247	17143			3911	72470		
Дружківка	761	2093			3449	25842		
Єнакієво	1600	4830			3425	8330		
Константинівка	1263	10724			3617	8754		
Євпаторія	1098	2760			1372	3444		
Конотоп	759	2258			964	6206		
Алчевськ			3151	8568			8047	21718
Луцьк			2714	10008			4738	16868
Артемівськ			1240	5540			3051	6556
Лисичанськ			443	2405			711	4943

Продовження табл. 2.2.

Місто України	Пробіг трамваїв, тис. км		Пробіг тролейбусів, тис. км		Кількість перевезених пасажирів трамвайними. вагонами, тис. пас.		Кількість перевезених пасажирів тролейбусами, тис. пас.	
	min	max	min	max	min	max	min	max
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Крим			16713	40718			35455	78437
Кіровоград			2530	5711			3638	13132
Кременчук			4190	7039			1184	15758
Полтава			4784	9325			22002	77077
Суми			3464	8509			32872	79051
Рівне			1397	7586			12345	61142
Севастополь			9142	17788			90329	190618
Херсон			5279	12655			32440	105677
Черкаси			4532	11238			4655	75460
Хмельницький			3436	9667			26441	77959
Чернігів			6417	13784			49307	131425
Чернівці			954	12115			27161	117436
Северодонецьк			1438	6540			6057	169740
Слов'янськ			567	4794			3111	36613
Тернопіль			1189	9713			12480	63553
Івано-Франківськ			472	2647			2498	30401
Антрацит			125	994			1075	7562
Краснодон			876	2564			6273	16006
Б. Церква			1695	2803			7199	21259
Дзержинськ			554	1864			3063	21868
Харцизьк			498	2095			3436	24408
Вуглегорськ			133	589			230	3355

Таблиця 2.3. – Орієнтовні значення коефіцієнтів для визначення розподілу електроенергії між двома видами транспорту.

Місто України	Трамвай			Похибка, Δ , тис.кВт год	тролейбус			Похибка, Δ у, тис.кВт год
	Вплив умов руху та інші фактори, b_0 , тис.кВт•год	Вплив пробігу, b_1 , Вт*год /км	Вплив кількість перевезених пасажирів, b_2 , Вт*год/пас		Вплив умов руху та інші фактори, b_0 , тис.кВт•год	Вплив пробігу, b_1 , Вт*год/км	Вплив кількість перевезених пасажирів, b_2 , Вт*год/пас	
Вінниця	4496,64	0,0006698	0,126472	4992,279	2080,992	2,240509	-0,007136	1559,147
Луганськ	6068,69	0,7272493	0,117154	5159,577	2800,101	1,020920	0,111523	1982,291
Стаханов	0,78	980,6385	10,77	0,92	604,6001	5,59	0,78	980,6385
Дніпропетровськ	23727,16	0,7968393	0,116213	9125,287	-13677,7	3,0123531	0,060531	9518,978
Кривий Ріг	-1954,09	1,7324277	0,10419	9245,127	4029,653	1,9570604	-0,020068	2155,13
Донецьк	-20994,3	2,7552763	0,186041	5711,845	14097,66	0,7743958	0,103921	11599,29
Горлівка	4548,76	0,4340677	0,109413	3046,373	386,2879	1,5963784	0,069277	1361,502
Краматорськ	1102,911	1,536087	-0,005276	1502,642	84,32806	2,684129	8,1E-05	917,656
Макіївка	-429,9679	-0,45561	0,449698	3329,203	1761,191	0,8131756	0,162872	2277,818
Маріуполь	12711,01	0,8884187	0,008352	6818,511	9020,66	0,8530454	0,046574	6318,46
Житомир	2374,48	0,6519432	-0,019661	1571,855	4827,542	1,7741799	-0,005503	1097,461
Запоріжжя	18729,9	1,1694258	0,022443	6722,14	-6251,11	2,8530788	0,028204	7476,427
Львів	-477,936	-0,75929	0,27012	6906,883	2914,959	2,115186	-0,0046	1210,075
Київ	-14405,5	3,3131883	-0,020585	6258,627	45302,36	0,7889667	0,09193	29946,84
Одеса	1179,897	3,3966509	-0,081168	6049,703	283,1184	2,8405819	-0,015327	6386,67
Миколаїв	8840,91	0,6410041	0,052717	7312,103	-204,728	2,7511011	-0,000582	1250,44
Харків	15631,8	2,1589044	0,032493	7956,542	6052,688	1,5782588	0,077907	7577,509

3. ВИЗНАЧЕННЯ ПИТОМИХ ВИТРАТ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ ТРАМВАЙНИМИ ВАГОНАМИ

3.1. Умови проведення випробувань з визначення витрат електроенергії

Випробування проводять на справному вагоні в спорядженому стані. Навантаження вагона обмежується корисною масою 200 кг без урахування маси водія.

Перед випробуваннями трамвайний вагон повинен бути обкатаний пробігом не менше 100 км, а безпосередньо перед контрольними заїздами проводиться обкатка вагона пробігом не менше 10 км.

Максимальні уставки пускових і гальмівних струмів повинні відповідати величинам, що наведені в технічній документації заводу-виробника.

Акумуляторна батарея повинна бути заряджена відповідно до інструкції з експлуатації.

Кватирки та вентиляційні люки повинні бути зачинені.

Системи опалення, вентиляції та освітлення повинні бути вимкнені.

Випробування проводять на прямій ділянці колії, довжиною не менше 500 м. Повздовжній ухил не повинен перевищувати 3 ‰ за 1.1 ГОСТ 8802. Рейки повинні бути чистими та сухими.

Величини напруги контактної мережі повинні знаходитися у межах, регламентованих ГОСТ 6962.

Швидкість вітру при випробуваннях не повинна перевищувати 3 м/с. Випробування проводяться за відсутності атмосферних опадів.

Температура повітря повинна бути не нижче +3 °С, відносна вологість повітря - не вище 95 %.

Під час випробувань за допомогою ЗВТ визначаються наступні показники:

- напруга контактної мережі, В;
- струм, що споживає вагон з контактної мережі, А;
- швидкість вагона, км/год;
- час, с.

У разі використання в якості ЗВТ лічильників електричної енергії визначається величина електроенергії, Вт*с.

При використанні лічильника електроенергії постійного струму мінімальна величина відліку повинна складати не більше 30 Вт*с.

Засоби вимірювальної техніки повинні зберігати показники на фізичних носіях інформації.

Похибки вимірювань, наведених вище показників, зазначені в таблиці 3.1

Під час випробувань додатково визначають наступні показники:

- швидкість вітру, м/с;
- температура повітря, °С;
- відносна вологість, %.

Похибки вимірювань наведених вище додаткових показників зазначені в табл. 3.2.

Таблиця 3.1. – Похибки вимірювань показників.

№ п/п	Назва показника	Похибка, % не більше
1	Напруга контактної мережі, В	1
2	Струм контактної мережі, А	1
3	Швидкість, км/год	1
4	Час, с	0,01
5	Електроенергія, Вт·с	2,5

Таблиця 3.2 - Похибки вимірювань показників.

№ п/п	Назва показника	Похибка, не більше
1	Швидкість вітру	0,5 м/с
2	Температура повітря	1°C
3	Відносна вологість повітря	1%

Напругу контактної мережі вимірюють між проводом, що приєднаний до струмоприймача трамвайного вагона та проводом, що приєднаний до струмознімальних пристроїв візків. При цьому ЗВТ повинні безперервно реєструвати величину напруги. Допускається дискретна реєстрація величин напруги. Частота дискретизації має бути не нижче 100 Гц.

Струм контактної мережі вимірюється в проводі, який приєднаний до струмоприймача трамвайного вагона. При цьому ЗВТ повинні безперервно реєструвати величину струму. Допускається дискретна реєстрація величин струму. Частота дискретизації повинна бути не нижче 100 Гц.

Схема підключення ЗВТ до електричних кіл трамвайного вагона наведена на рис. 7.1.

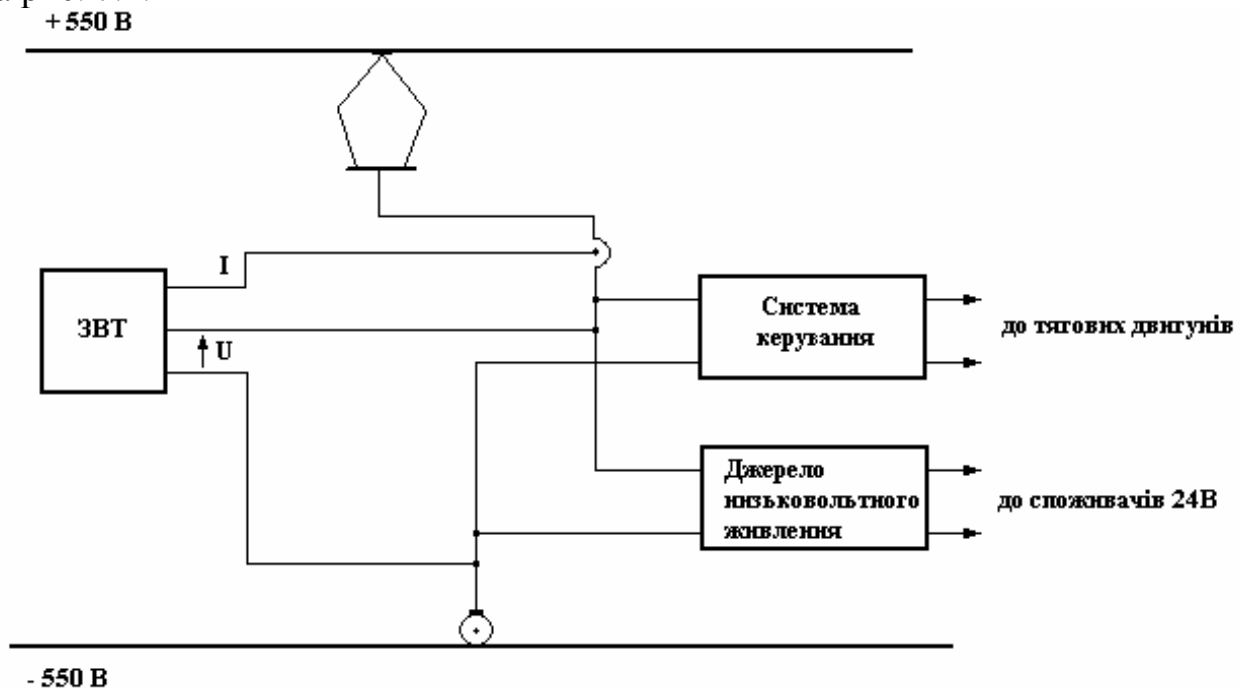


Рис. 3.1. - Схема підключення ЗВТ

Швидкість трамвайного вагона повинна реєструватися безперервно чи дискретно з частотою не менше 100 Гц.

Реєстрація величин напруги та струму контактної мережі виконується в функції часу, при цьому запис вказаних величин повинен здійснюватись синхронно.

Початок пускового режиму повинен фіксуватися ЗВТ сигналом від датчика, що контролює початок натискання пускової педалі або приведення в дію рукоятки контролера.

Зареєстровані таким чином величини напруги, струму та часу використовуються при визначенні показників споживання електроенергії.

3.2. Порядок проведення випробувань

3.2.1. Випробування для визначення витрат енергії вагоном під час розгону

Трамвайний вагон встановлюють на початку ділянки колії, на якій виконуються випробування.

Вмикають ЗВТ, що реєструють. Виконують пуск трамвайного вагона з максимальною струмовою уставкою. Розгін вагона здійснюється до швидкості 40 км/год (11,1 м/с), після чого пусковий режим припиняється і вагон загальмовується. Виконується не менше трьох контрольних заїздів на одній і тій же ділянці колії. Розгін та гальмування вагона здійснюється з дотриманням вимог безпеки руху. Під час проведення випробувань не допускається буксування. У випадку виникнення буксування необхідно посипати колії незначною кількістю піску. Після посипання колії піском виконується пробний заїзд, який не є заліковим. В наступних (залікових) заїздах повторне посипання колії піском не допускається.

3.2.2. Випробування для визначення рекуперованої енергії під час електричного гальмування трамвайного вагона

Трамвайний вагон розганяють до швидкості 41 км/год – 43 км/год і переводиться в режим вибігу. Визначення величини рекуперованої електроенергії здійснюють після досягнення трамвайним вагоном швидкості 40 км/год, для чого вмикаються ЗВТ і вагон переводиться в гальмівний режим.

Гальмування вагона здійснюють з максимальною струмовою уставкою. Юз під час випробувань не допускається. Вимикання ЗВТ здійснюється після зупинки трамвайного вагона. Під час випробувань здійснюють не менше трьох контрольних заїздів на одній ділянці колії.

3.2.3. Особливості випробувань при застосуванні лічильників електроенергії

У разі використання в якості ЗВТ лічильника електроенергії випробування здійснюються відповідно з п. 3.2.1 і 3.2.2.

Лічильник вмикається в момент початку пускового режиму. Лічильник

вимикається при досягненні трамвайним вагоном швидкості 40 км/год. У гальмівному режимі лічильник вмикається у момент досягнення швидкості 40 км/год і вимикається в момент зупинки трамвайного вагона.

3.3. Обробка результатів випробувань

Витрати електроенергії в режимі пуску A , Вт·с, дорівнюють:

$$A = \int_{t_{п.п.}}^{t_{40}} U \cdot I dt, \quad (3.1)$$

де t_{40} – момент досягнення швидкості 40 км/год, с;

$t_{п.п.}$ - момент початку пускового режиму, с;

U – напруга контактної мережі, В;

I – струм, що споживається вагоном з контактної мережі, А.

Витрати електроенергії в режимі пуску A , Вт·с, при дискретній формі запису визначаються за допомогою програмних засобів за формулою

$$A = \Delta t \sum_{n=1}^n U_n \cdot I_n, \quad (3.2)$$

де n – кількість вимірювань від моменту початку пуску до досягнення швидкості 40 км/год;

Δt – проміжок часу, за який вимірюється напруга, U_n , та струм, I_n .

При застосуванні лічильника електроенергії фіксується показник спожитої енергії, A , а його значення використовується у розрахунках за (3.4), (3.5).

Величина рекуперованої електроенергії $A_{р\kappa\mu}$, Вт·с, при електричному гальмуванні вагона визначається за формулою:

$$A_{р\kappa\mu} = - \int_{t_{40}}^{t_k} U \cdot I dt, \quad (3.3)$$

де t_k - момент закінчення гальмівного режиму.

Величина рекуперованої енергії у зв'язку з імовірнісним характером цієї величини є оціночним показником і в подальшому не використовується при розрахунках питомих показників витрат електроенергії.

У разі використання в якості ЗВТ лічильника електроенергії величина рекуперованої енергії зчитується з лічильника після виконання випробувань за 3.2.3.

Досконалість конструкції трамвайного вагона в частині споживання електричної енергії характеризується коефіцієнтами використання електричної енергії та питомих витрат.

Коефіцієнт використання електроенергії, η_B , в інтегральному вигляді характеризує досконалість конструкції трамвайного вагона в частині к.к.д електропривода та величини основного опору руху і визначається за формулою

$$\eta_B = \frac{mv^2}{2A}, \quad (3.4)$$

де m – маса спорядженого вагона, заявлена заводом-виробником, кг;
 v – швидкість вагона – 11,1 м/с;

Коефіцієнт питомих витрат електроенергії трамвайним вагоном відносно площі підлоги пасажирського салону a_s , Вт*с/м², в інтегральному вигляді характеризує досконалість конструкції вагонів в частині витрат електроенергії на одиницю площі пасажирського салону та визначається формулою

$$a_s = \frac{A}{S}, \quad (3.5)$$

де S – загальна площа підлоги пасажирського салону, м².

3.4. Порівняння трамвайних вагонів за показниками ефективності використання електроенергії та питомих витрат

Порівняння трамвайних вагонів за показниками використання електроенергії здійснюється шляхом встановлення величини Δ_B за формулою

$$\Delta_B = \frac{\eta_{B1} - \eta_{B2}}{\eta_{B1}} \cdot 100\%, \quad (3.6)$$

де η_{B1}, η_{B2} – коефіцієнти використання електроенергії вагонів, що порівнюються ($\eta_{B1} > \eta_{B2}$).

Величина Δ_B характеризує на скільки в відсотках трамвайний вагон з коефіцієнтом використання електроенергії η_{B1} є більш ефективним за критерієм споживання електроенергії, ніж трамвайний вагон з коефіцієнтом використання електроенергії η_{B2} .

Порівняння трамвайних вагонів за показником питомих витрат електроенергії відносно площі підлоги пасажирського салону здійснюється шляхом встановлення величини Δ_s , за формулою

$$\Delta_s = \frac{a_{s1} - a_{s2}}{a_{s1}} \cdot 100\%, \quad (3.7)$$

де a_{s1}, a_{s2} – коефіцієнти питомих витрат електроенергії вагонів, що порівнюються ($a_{s1} > a_{s2}$).

Величина Δ_s характеризує на скільки в відсотках трамвайний вагон з коефіцієнтом питомих витрат a_{s1} споживає більше, ніж вагон з коефіцієнтом питомих витрат a_{s2} .

Приклади визначення і порівняння показників використання та питомих витрат електроенергії трамвайними вагонами одного типу до і після проведення модернізації із заміною електрообладнання

1. Розрахунок коефіцієнтів використання та питомих витрат електроенергії трамвайними вагонами ТЗ з реостатно-контакторною системою керування ТЕД (до модернізації)

Вихідні дані для розрахунку коефіцієнтів використання та питомих витрат електроенергії наведені в табл. 3.3.

Таблиця 3.3. – Вихідні дані для трамвайних вагонів ТЗ з реостатно-контакторною системою керування ТЕД.

Витрати електроенергії отримані під час випробувань:	
1 – й заїзд	$A_1 = 2221200 \text{ Вт}\cdot\text{с}$
2 – й заїзд	$A_2 = 2021200 \text{ Вт}\cdot\text{с}$
3 – й заїзд	$A_3 = 2145600 \text{ Вт}\cdot\text{с}$
Маса вагона під час випробувань	$m = 16800 \text{ кг}$
Загальна площа підлоги пасажирського салону	$S = 25,1 \text{ м}^2$
Примітка. Значення витрат електроенергії A_1, A_2, A_3 (три контрольні заїзди) – за показниками лічильника або після обробки електронними програмними засобами величин напруги та струму	

Середня величина витрат електроенергії, $A_{\text{ср}}$ трамвайним вагоном складає:

$$A_{\text{ср}} = \frac{A_1 + A_2 + A_3}{3} = \frac{2221200 + 2221200 + 2145600}{3} = 2196000 \text{ Вт}\cdot\text{с}.$$

Коефіцієнт використання електричної енергії трамвайним вагоном, $\eta_{\text{вр}}$, складає:

$$\eta_{\text{вр}} = \frac{mv^2}{2 \cdot A_{\text{ср}}} = \frac{16800 \cdot 11,1^2}{2 \cdot 2196000} = 0,471.$$

Коефіцієнт питомих витрат електроенергії відносно площі підлоги пасажирського салону $a_{\text{сп}}$, становить:

$$a_{\text{сп}} = \frac{A_{\text{ср}}}{S} = \frac{2196000}{25,1} = 87490 \frac{\text{Вт}\cdot\text{с}}{\text{м}^2}.$$

2. Розрахунок коефіцієнтів використання та питомих витрат електроенергії трамвайними вагонами ТЗ з імпульсною системою керування ТЕД (після модернізації)

Вихідні дані для розрахунку коефіцієнтів питомих витрат електроенергії наведені в табл. 3.4.

Таблиця 3.4. - Вихідні дані для трамвайних вагонів ТЗ з імпульсною системою керування ТЕД.

Витрати електроенергії під час випробувань::	
1 – й заїзд	$A_1 = 1728000 \text{ Вт}\cdot\text{с};$
2 – й заїзд	$A_2 = 1720800 \text{ Вт}\cdot\text{с}$
3 – й заїзд	$A_3 = 1724400 \text{ Вт}\cdot\text{с}$
Маса вагона під час випробувань	$m = 16800 \text{ кг}$
Загальна площа підлоги пасажирського салону	$S = 25,1 \text{ м}^2$
Примітка. Значення витрат електроенергії A_1, A_2, A_3 (три контрольні заїзди) – за показниками лічильника електроенергії або після обробки електронними програмними засобами величин напруги та струму	

Середня величина витрат електроенергії, $A_{\text{сі}}$, трамвайним вагоном

складає:

$$A_{ci} = \frac{A_1 + A_2 + A_3}{3} = \frac{1728000 + 1720800 + 1724400}{3} = 1724400 \text{ Вт}\cdot\text{с}.$$

Коефіцієнт використання електричної енергії трамвайним вагоном, η_{vi} , складає:

$$\eta_{vi} = \frac{mv^2}{2 \cdot A_{ci}} = \frac{16800 \cdot 11,1^2}{2 \cdot 1724400} = 0,6.$$

Коефіцієнт питомих витрат електроенергії відносно площі підлоги пасажирського салону a_{si} , становить:

$$a_{si} = \frac{A_{ci}}{S} = \frac{1724400}{25,1} = 68701,2 \frac{\text{Вт}\cdot\text{с}}{\text{м}^2}$$

3. Порівняння трамвайних вагонів ТЗ з імпульсною та реостатно-контакторною системами керування ТЕД за показниками використання електроенергії та питомих витрат

Порівняння вище зазначених трамвайних вагонів за показником використання електроенергії здійснюють за формулою

$$\Delta_B = \frac{\eta_{vi} - \eta_{vp}}{\eta_{vi}} \cdot 100\% = \frac{0,6 - 0,471}{0,6} \cdot 100\% = 21,5\%.$$

Таким чином, після модернізації трамвайного вагона ТЗ під час якої була встановлена імпульсна система керування ТЕД його ефективність в частині споживання електричної енергії підвищилась на 21,5 %.

Порівняння трамвайних вагонів за показником питомих витрат електроенергії виконується за формулою

$$\Delta_s = \frac{a_{sp} - a_{si}}{a_{sp}} \cdot 100\% = \frac{87490 - 68701,2}{87490} \cdot 100\% = 21,5\%.$$

Таким чином трамвайний вагон ТЗ з реостатно-контакторною системою керування ТЕД споживає на 21,5 % електроенергії більше, ніж трамвайний вагон ТЗ з імпульсною системою керування ТЕД.

Задача 3.1. Порівняти показники енергоємності трамвайного вагона Tatra-T6B5 до і після модернізації. Маса вагона складає 18400 кг, площа підлоги пасажирського салону становить 29,7 м². Середня величина витрат електроенергії до модернізації складає 1632500 Вт·с, після модернізації – 1604560 Вт·с.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Далека В.Х., Будниченко В.Б., Карпушин Е.І., Коваленко В.І. Технічна експлуатація міського електричного транспорту. Навчальний посібник для студентів спеціальностей 7.092 201 – Електричні системи і комплекси транспортних засобів, 7.092 202 – Електричний транспорт. – Х.: ХНАМГ, 2007.- 285 с.
2. В.В. Вірченко, В.Х. Далека, Е.І. Карпушин, В.А. Менжерес Безпека руху на міському електротранспорті. Довідник законодавчих та нормативних документів. Книга 2. Безпека пасажирських перевезень: Навч. посібник. - Харків: ХДАМГ, 2002. – 288 с
3. Правила експлуатації трамвая і тролейбуса. –К.:1997. Зміни та доповнення 2004 р.
4. Далека В.Х., Коваленко В.І., Будниченко В.Б., Хворост М.В. Практикум з технічної експлуатації міського електричного транспорту.- Х.: ХДАМГ, 2002.-171с.
5. Галузеві комунальні норми ГКН 02.07.005 – 2001. Витрати електроенергії трамвайними вагонами та тролейбусами. Нормативи. Методи розрахунку // Г.П. Щербина, Л.В. Збарський, Е.І. Карпушин, В.Б. Будниченко, В.Х. Далека, В.В. Кривуля. Чинний від від 01.01.2001.- К: Держбуд України, 2001.- 23с.
6. В.Е. Розенфельд, И.П. Исаев, Н.Н. Сидоров «Теория электрической тяги». 2-е изд. – М.: «Транспорт», 1983 - 320 с.

Навчальне видання

Далека Василь Хомич,
Гарбуз Нонна Володимирівна,
Гордієнко Ольга Сергіївна

Методичні вказівки до практичних робіт з дисципліни **«Енергозбереження та енергетичний менеджмент»**. Частина I (для студентів усіх форм навчання і слухачів другої вищої освіти за напрямом 6.050702 (0922) «Електромеханіка»).

Редактор *М. І. Аляб'єв*

Комп'ютерна верстання *Н. В. Зражевська*

План 2009, поз. 212 М

Підп. до друку 16.12.2009
Друк на ризографі.
Тираж 50 пр.

Формат 60×84 1/16
Ум. друк. арк. 1,9
Зам. №

Видавець і виготовлювач:
Харківська національна академія міського господарства,
вул. Революції, 12, Харків, 61002
Електронна адреса: rectorat@ksame.kharkov.ua
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:
ДК № 731 від 19.12.2001