

*А.В. Петров, А.І. Кійко, канд-т техн.наук, О.Г. Шейкіна, канд-т техн.наук  
(Україна, Дніпропетровськ, Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту  
імені академіка В. Лазаряна)*

## ДОДАТКОВІ ВТРАТИ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ В ТЯГОВІЙ МЕРЕЖІ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ТЯГИ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ

**Вступ.** Ця робота є продовженням і розвитком досліджень, результати яких викладено в [1, 2].

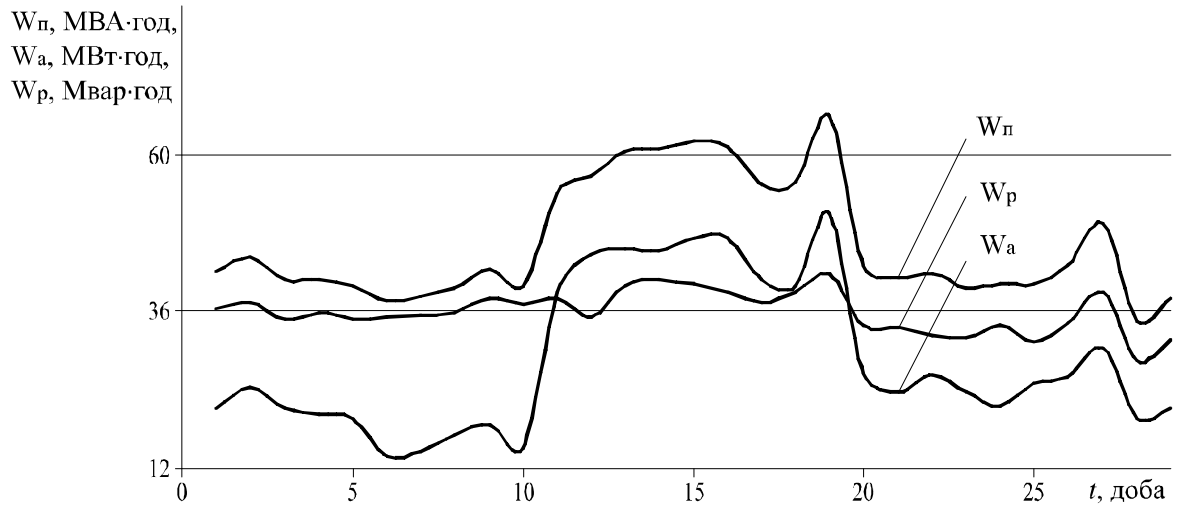
Величина втрат електроенергії в елементах системи електропостачання є визначальним фактором оцінки ефективності процесів електропостачання і електроспоживання в будь-якій електроенергетичній системі. Система електричної тяги постійного струму не є виключенням. Зокрема, силові тягові кола електрорухомого складу (ЕРС), а також тягові мережі (ТМ) разом з підстанційними фільтрами і згладжуючим реактором, споживають значну неактивну потужність, яка пульсує між тяговою підстанцією (ТП) та ЕРС, й тим самим обумовлює додаткові (непродуктивні) втрати електроенергії  $\Delta P_d$ . Розв'язання задач стосовно непродуктивних втрат вимагає попереднього виявлення точок і першопричин їх виникнення, кількісного визначення, а також оцінки можливостей зменшення до економічно виправданих мінімальних значень. При цьому треба мати на увазі, що для визначення зазначених втрат електровимірювальних приладів (лічильників) в практиці поки що не існує, тому втрати необхідно оцінювати лише розрахунковим методом. В той же час, навіть до теперішнього часу в різних звітних документах та наукових публікаціях проводиться оцінка і аналіз лише загальних сумарних (без їх поділу) втрат електроенергії. І якщо такий підхід цілком виправданий при розрахунках нових систем електропостачання та при уточненні навантажень, що живлять лінії електропередач, то при оцінюванні технічної сторони транспортування електроенергії і якості організації та контролю існуючих зовнішнього і тягового електропостачань він є відверто недостатнім. Це і обумовило необхідність написання цієї роботи.

**Методики експериментальних досліджень.** Експериментальні дослідження виконували на діючих електрифікованих ділянках Горяїново-Сухачівка, Слав'янка-Миколаївка та Письменна-Ул'янівка Придніпровської залізниці. Для запису часової залежності обвідної кривої випрямленої напруги ТП, необхідної для розрахунку енергетичних показників, застосовували ампервольтметр самописний переносний типу Н339 за №01280, який вмикали паралельно до вихідних затисків дільника напруги (40/1), увімкненого до шин "+" і "-" ТП. Система приладу Н339 – магнітоелектричний з випрямлячем, клас точності – 1,5. Швидкість запису – 100...300 мм/год. Реєстрацію обвідної кривої випрямленого струму здійснювали за допомогою приладу того ж типу, з тією ж швидкістю запису, але за № 00129, який вмикали паралельно до шунта (3000А/75мВ) досліджуваного фідера.

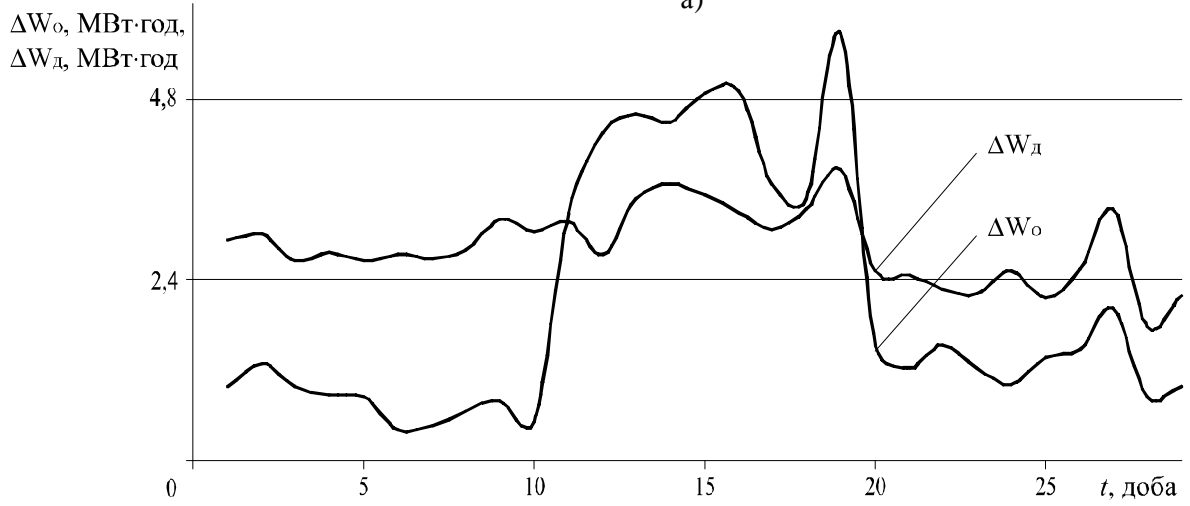
Розрахунки додаткових  $\Delta W_d$ , а для порівняння і основних  $\Delta W_0$ , втрат електроенергії в ТМ здійснено за виразами, які приведено в [1, 2] і виконано як "миттєві" (середньохвилинні), "погодинні" (середньогодинні) і "добові" (середньодобові) значення зазначених випадкових величин потужностей, коли одне значення (одну точку на графіках) розраховували як середньоарифметичне відповідно "за 10 хвилин", "за одну годину" і "за добу".

**Результати та аналіз чисельних розрахунків.** Як відомо, в практиці тягової електроенергетики звітними величинами, а тому найбільш часто розрахунковими, є добові та місячні втрати електроенергії. Характер зміни та діапазон розкиду таких втрат на прикладі ділянки Горяїново-Сухачівка показано на рис. 1, б та 2, із яких випливає, що величина додаткових втрат електроенергії  $\Delta W_d$  за кожен добу на протязі місяця коливається від 1782,9 до 3867,4 кВт·год., а основних  $\Delta W_0$  – в інтервалі 417,7...5675,9 кВт·год. Розподілення добових величин додаткових втрат електроенергії  $\Delta W_d$  підкоряється закону Гаусса, при цьому  $A_s = -0,007$ , а  $E_x = -0,475$  (рис. 2, а).

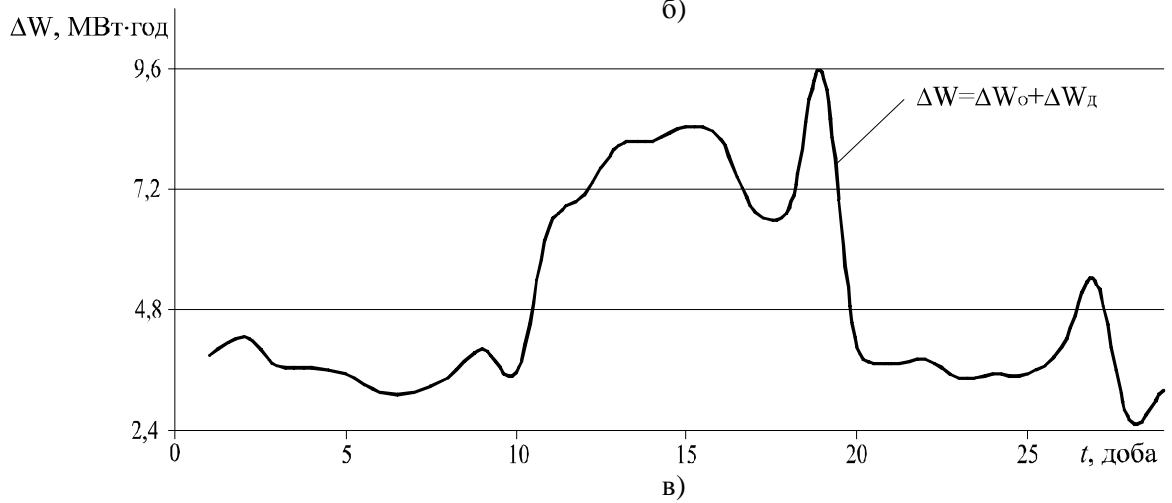
З точки зору аналізу енергетичних процесів у тяговому електропостачанні важливими є не лише абсолютні значення втрат і  $\Delta W_0$ , але й їх відносні величини, а саме: відносно споживаної енергії  $W$ , а також відношення  $\Delta W_d / \Delta W_0$ , тим більше, що таке відношення не залежить від еквівалентного опору  $R_\Sigma$  [1], яке в реальних умовах визначати важко. Зазначені відсоткові відношення в залежності від доби для ділянки Горяїново-Сухачівка представлені на рис. 3, із якого випливає, що додаткові "добові" втрати електроенергії  $\Delta W_d$  (в різні доби, без врахування "особливих" перших 10 діб) складають: від 6,7 до 13,1% від споживаної електроенергії  $W$  і від 63 до 248% – від основних втрат  $\Delta W_0$ . Треба зауважити, що максимальне значення  $\Delta W_d / \Delta W_0 > 600\%$  спостерігається в перші 10 діб і пояснюється, певно, малим корисним навантаженням  $P$  ділянки, що й спричинили малі  $\Delta W_0$ , а, отже, великі значення відношення  $\Delta W_d / \Delta W_0$ .



а)

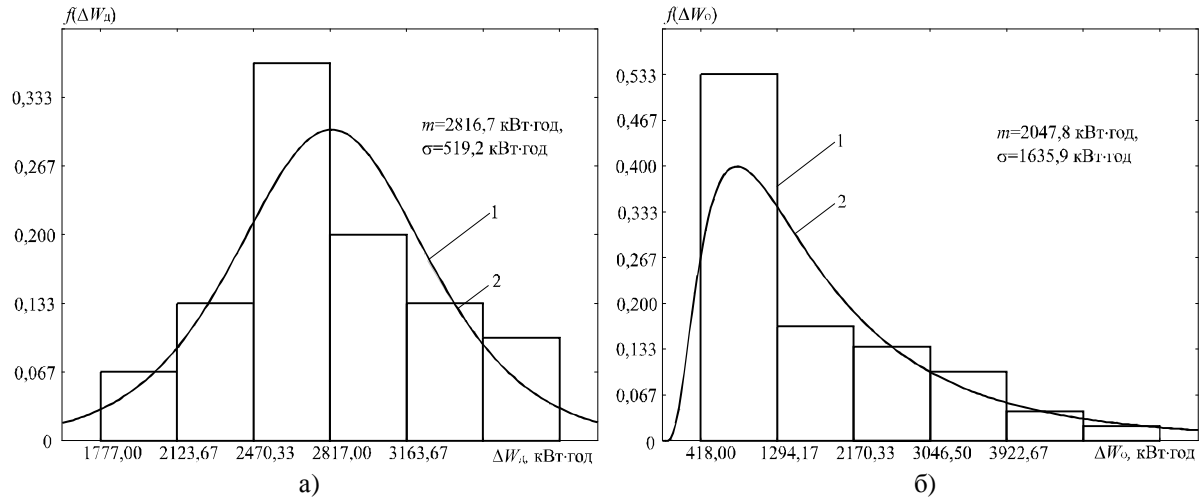


б)



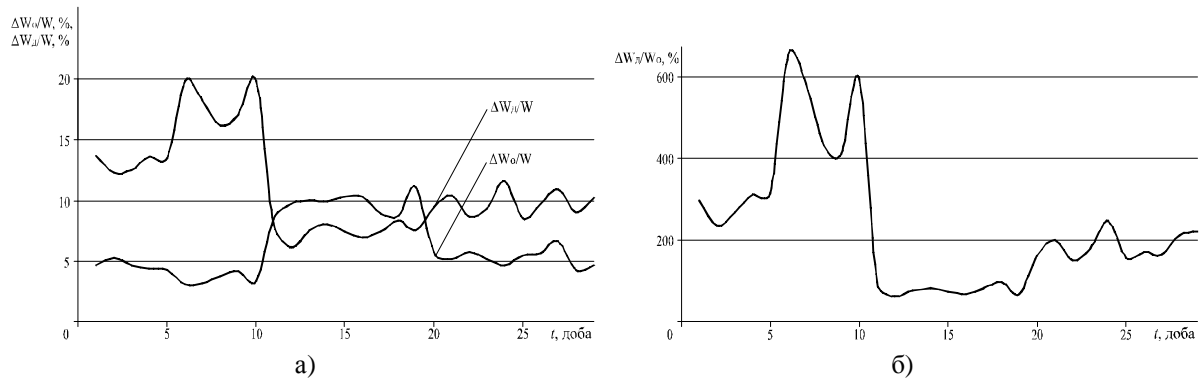
в)

**Рис. 1. "Добові" залежності для ТМ ділянки Горяїново-Сухачівка:**  
**а) повної  $W_{п}$ , активної (споживаної)  $W_{a}$  та реактивної  $W_{p}$  енергій;**  
**б) додаткових  $\Delta W_{д}$  та основних  $\Delta W_{о}$  втрат електроенергії;**  
**в) загальних втрат  $\Delta W$  електроенергії**



**Рис. 2. Статистичні (1) і теоретичні (2) розподілення "добових" величин додаткових (а) і основних (б) втрат електроенергії в тяговій мережі ділянки Горяїново-Сухачівка**

Близькими до зазначених вище були відсотки відношень втрат електроенергії в тяговій мережі інших досліджених в цій роботі міжпідстанційних зон, зокрема на ділянках Письменна-Ул'янівка і Слав'янка-Миколаївка (таблиця).



**Рис. 3. Відношення "добових" (за кожен день) додаткових втрат електроенергії  $\Delta W_{\text{д}}$  до споживаної  $W$  (а) і до основних втрат  $\Delta W_{\text{о}}$  (б) в тяговій мережі ділянки Горяїново-Сухачівка**

Таблиця

Чисельні значення різних видів втрат електроенергії для деяких ділянок тягового електропостачання

№ п/п	Види втрат електроенергії	"Добові" значення втрат на ділянках		
		Горяїново-Сухачівка, $l = 12$ км	Письменна-Ул'янівка, $l = 20$ км	Слав'янка-Миколаївка, $l = 22$ км
1	Споживана (активна) електроенергія, $W$ , кВт·год.	28684,9	37872,0	24461,5
2	Основні (продуктивні) втрати, $\Delta W_{\text{о}}$ , кВт·год.	2085,0	2791,7	1357,1
3	Додаткові (непродуктивні) втрати, $\Delta W_{\text{д}}$ , кВт·год	2849,5	3216,8	1362,0
4	Співвідношення, $\frac{W_{\text{о}}}{W}$ , %	7,27	7,34	5,60
5	Співвідношення, $\frac{W_{\text{д}}}{W}$ , %	9,93	8,50	5,62
6	Співвідношення, $\frac{W_{\text{д}}}{W_{\text{о}}}$ , %	136,7	116,2	100,4
7	Співвідношення, $\frac{(\Delta W_{\text{о}} + \Delta W_{\text{д}})}{W}$ , %	17,20	15,84	11,22

Як випливає із таблиці, середні значення за добу ("добові") додаткових втрат електроенергії  $\Delta W_d$  в ТМ складають 5,62...9,93%, а максимальні значення ~13% (рис. 3) від споживаної (активної) електроенергії  $W$  і 100,4...136,7% відносно основних втрат  $\Delta W_O$  і 11,22...17,2% загальних втратах  $\Delta W$  відносно споживаної електроенергії  $W$ . Отже, додаткові втрати майже на 15...37% перевищують основні, що й тим більше зобов'язує розробку організаційно-технологічних заходів по їх зменшенню (бажано до нуля).

Заради адекватності методів проведених досліджень і достовірності отриманих результатів зазначимо, що вищенаведені втрати  $\Delta W_d$  і  $\Delta W_O$  по відсоткам дуже близькі до втрат, які отримані в роботах для промислової електроенергетики.

Треба зауважити, що максимальне значення  $\Delta W_d / \Delta W_O > 600\%$  спостерігається в перші 10 діб і пояснюється, певно, малим корисним навантаженням  $P$  ділянки, що й спричинили малі  $\Delta W_O$ , а, отже, великі значення відношення  $\Delta W_d / \Delta W_O$ .

### **Висновки.**

1. Часові залежності додаткових  $\Delta W_d(t)$  і основних  $\Delta W_O(t)$  втрат в тягових мережах міжпідстанційних ділянок являють собою випадкові різкозмінні нестационарні процеси, при цьому в деякі інтервали часу  $\Delta W_d > \Delta W_O$ , а в деякі – навпаки, а максимуми  $\Delta W_d$  і  $\Delta W_O$  відповідають максимумам потужностей відповідно  $Q_\phi$  і  $P$ .

2. Розподілення випадкових значень "добових" додаткових втрат електроенергії  $\Delta W_d$  підкоряється нормальному закону з параметрами, наприклад, для ділянки Горяїново-Сухачівка:

$$M[\Delta W_d] = 2849,5 \text{ кВт-год}, \sigma_{\Delta W_d} = 529,2 \text{ кВт-год}, A_s = -0,007, E_x = -0,475.$$

3. Для тягових мереж усіх різних досліджених ділянок "добові" значення додаткових втрат електроенергії  $\Delta W_d$  складають 5,62...9,93% (а максимальні значення ~13%) по відношенню до споживаної (активної) електроенергії  $W$  і 100,4...136,7% відносно основних втрат  $\Delta W_O$  і 11,22...17,2% загальних втрат  $\Delta W = \Delta W_d + \Delta W_O$  відносно споживаної електроенергії  $W$ . Отже, додаткові втрати майже на 15...37% перевищують основні втрати.

### **Список літератури**

1. Петров, А. В. Непродуктивні втрати електроенергії в тяговому електропостачанні системи постійного струму [Текст]/ А. В. Петров, М. О. Костін // Вісник ДНУЗТ. – 2010. – № 31. – С. 106-110.
2. Костін, М. О. Зниження непродуктивних втрат електроенергії – найважливіша задача підвищення ефективності електроспоживання системами електричної тяги [Текст]/ М. О. Костін, П. С. Михаліченко, А. В. Петров // Залізничний транспорт України. – 2009. – №2. – С. 43-44.

*Рекомендовано до друку: проф. Костіним М.О.*