

*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].

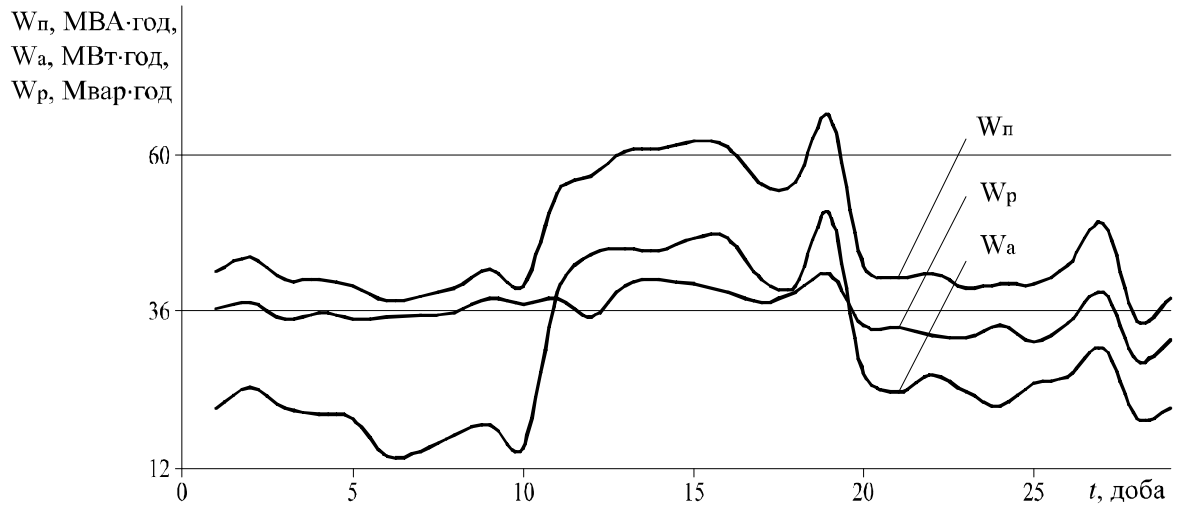
Величина втрат електроенергії в елементах системи електропостачання є визначальним фактором оцінки ефективності процесів електропостачання і електроспоживання в будь-якій електроенергетичній системі. Система електричної тяги постійного струму не є виключенням. Зокрема, силові тягові кола електрорухомого 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 ΔP_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 затискачів 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.

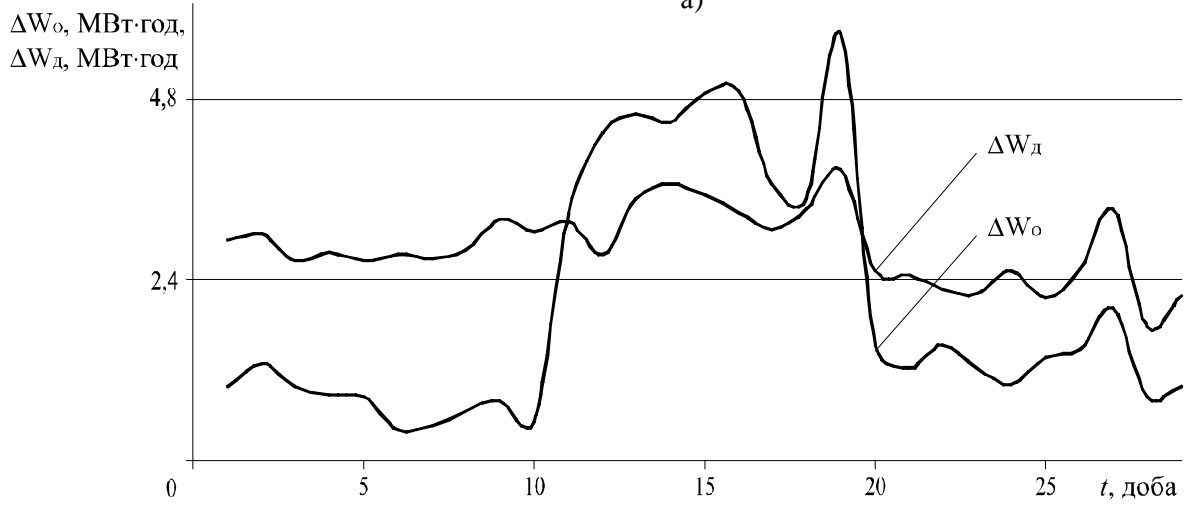
Розрахунки додаткових ΔW_d , а для порівняння і основних ΔW_0 , втрат електроенергії в ТМ здійснено за виразами, які приведено в [1, 2] і виконано як "миттєві" (середньохвилинні), "погодинні" (середньогодинні) і "добові" (середньодобові) значення зазначених випадкових величин потужностей, коли одне значення (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 ΔW_d за кожен добу на протязі місяця коливається від 1782,9 до 3867,4 кВт·год., а основних ΔW_0 – в інтервалі 417,7...5675,9 кВт·год. Розподілення добових величин додаткових втрат електроенергії ΔW_d підкоряється закону Гаусса, при цьому $A_s = -0,007$, а $E_x = -0,475$ (рис. 2, а).

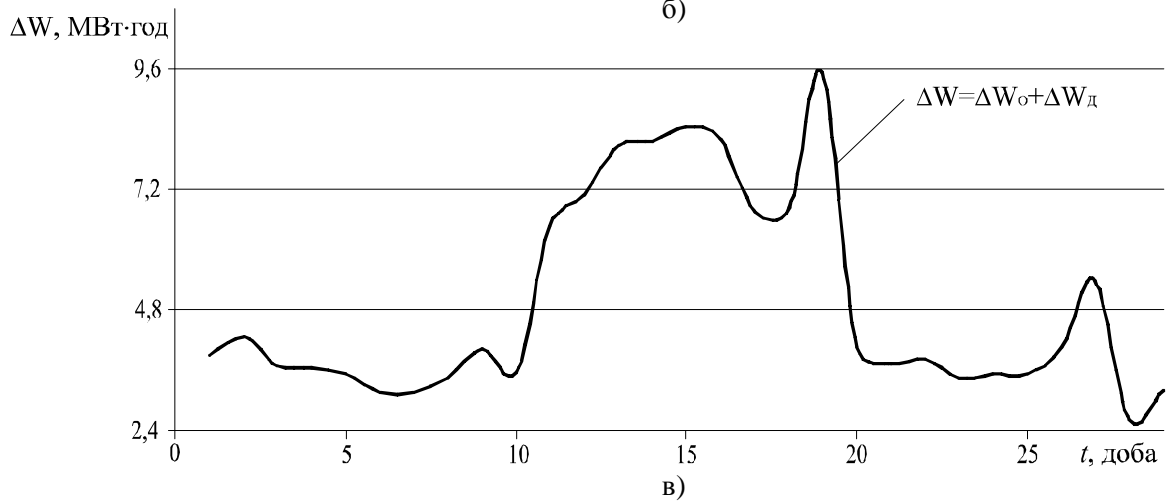
З точки зору аналізу енергетичних процесів у тяговому електропостачанні важливими є не лише абсолютні значення втрат і ΔW_0 , але й їх відносні величини, а саме: відносно споживаної енергії W , а також відношення $\Delta W_d / \Delta W_0$, тим більше, що таке відношення не залежить від еквівалентного опору R_Σ [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 ΔW_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 ΔW_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 ΔW_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 $W_{\text{п}}$, активної (споживаної) $W_{\text{а}}$ та реактивної $W_{\text{р}}$ енергій;
б) додаткових $\Delta W_{\text{д}}$ та основних $\Delta W_{\text{о}}$ втрат електроенергії;
в) загальних втрат ΔW електроенергії

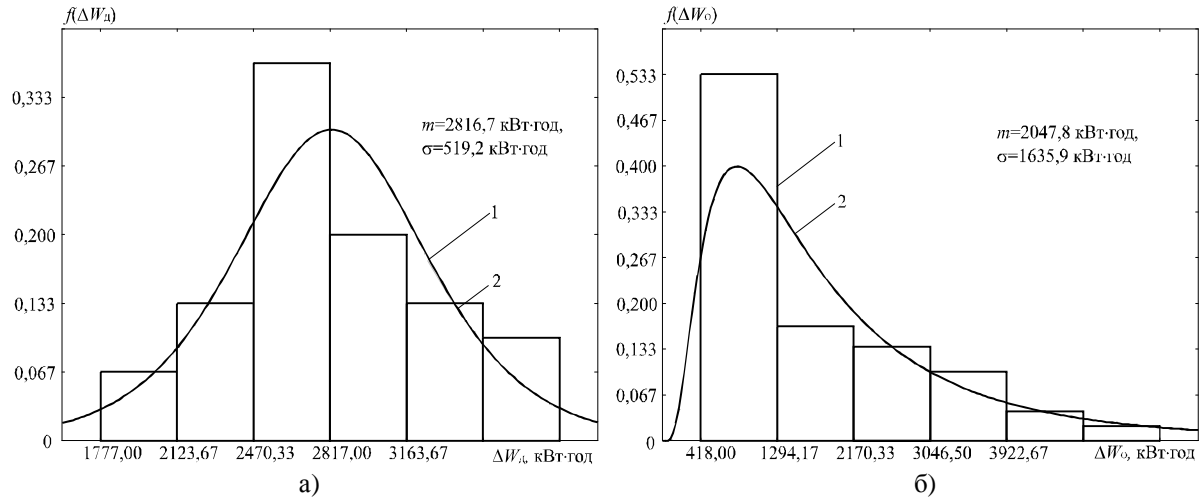


Рис. 2. Статистичні (1) і теоретичні (2) розподілення "добових" величин додаткових (а) і основних (б) втрат електроенергії в тяговій мережі ділянки Горяїново-Сухачівка

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).

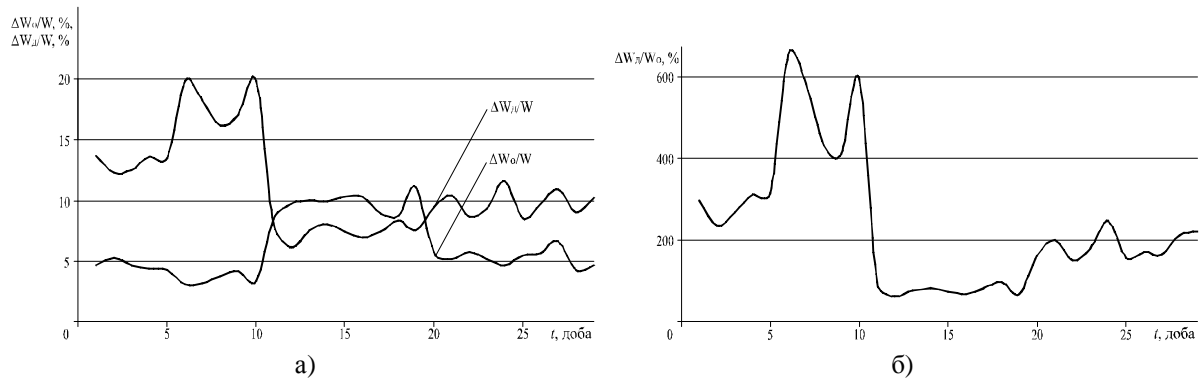


Рис. 3. Відношення "добових" (за кожен день) додаткових втрат електроенергії ΔW_d до споживаної W (а) і до основних втрат ΔW_o (б) в тяговій мережі ділянки Горяїново-Сухачівка

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, ΔW_o , кВт·год.	2085,0	2791,7	1357,1
3	Додаткові (непродуктивні) втрати, ΔW_d , кВт·год	2849,5	3216,8	1362,0
4	Співвідношення, W_o/W , %	7,27	7,34	5,60
5	Співвідношення, W_d/W , %	9,93	8,50	5,62
6	Співвідношення, W_d/W_o , %	136,7	116,2	100,4
7	Співвідношення, $(\Delta W_o + \Delta W_d)/W$, %	17,20	15,84	11,22

Як випливає із таблиці, середні значення за добу ("добові") додаткових втрат електроенергії ΔW_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 ΔW_O і 11,22...17,2% загальних втратах ΔW 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 ΔW_d і ΔW_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 ΔW_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 ΔW_d і ΔW_O відповідають максимумам потужностей відповідно Q_ϕ і P .

2. Розподілення випадкових значень "добових" додаткових втрат електроенергії ΔW_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 ΔW_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 ΔW_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.