

СРАВНИТЕЛЕН АНАЛИЗ НА МЕТОДИТЕ ЗА ОПРЕДЕЛЯНЕ ЗАГУБИТЕ НА ЕЛЕКТРОЕНЕРГИЯ В ЕСС НА ПРОМИШЛЕНИ ОБЕКТИ ПО КРИТЕРИЙ “ЗНАЧИМОСТ И ДОСТОВЕРНОСТ”

COMPARATIVE ANALYSIS OF METHODS FOR DETERMINING THE ELECTRICITY LOSSES IN ELECTRICITY SUPPLY SYSTEM OF INDUSTRIAL SITES BY CRITERION “IMPORTANCE AND CREDIBILITY”

Киров Р.М.
ТУ - Варна

Abstract

In the past (15-20) years have changed radically Regime parameters of power consumption of industrial sites. Most of them work in low-power mode, not restructured their electricity supply system and this gives rise to different researchers for a new look at methods for determining power losses and electrical power (ΔP and ΔW). The purpose of this study is to analyze the accuracy of different methods for estimating losses and to recommend the most appropriate of them, under new conditions of service of industrial sites.

Keywords: methods, power losses, exploitation of industrial sites.

ВЪВЕДЕНИЕ

През последните (15 – 20) години се промениха коренно режимните параметри на електропотребление на промишлените обекти. Болшинството от тях работят в режим на понижена консумация, не реструктурираха своите ЕСС и това дава основание на различни изследователи за един нов поглед върху методите за определяне загубите на мощност и ел. енергия (ΔP и ΔW). Целта на настоящото изследване е да се анализира точността на различните методи за определяне на загубите и да се препоръчат най-адекватните от тях, в съответствие с новите условия на експлоатация на промишлените обекти.

ИЗЛОЖЕНИЕ

Разгледани и сравнени са следните важни, с практическо приложение методи, в които е застъпен интегрален подход [1,3]:

1. Метод с времето на максималните загуби.

$$\Delta W = 3 \cdot I_{max} \cdot R_{екв} \cdot \tau = (\Delta P_{max} \cdot T) \cdot \tau^* \quad (1)$$

2. Метод с коефициента на формата (метод на средните товари).

$$\Delta W = \Delta P_{cp} \cdot T \cdot K_{\phi}^2 = (W_P^2 + W_Q^2) U^{-2} \cdot T^{-1} \cdot R_{екв} \cdot K_{\phi}^2 \quad (2)$$

3. Графоаналитичен метод.

$$\Delta W = (\Delta W_P^2 + \Delta W_Q^2) \cdot R_{екв} \cdot \gamma^{-2} \cdot T^{-1} \cdot (1 + I_{cp}^{-2} \cdot D_I) \quad (3)$$

4. Регресионен метод с използване теорията на планиране на експеримента (ТПЕ)

$$\Delta P = b_0 + \sum_{i=1}^n b_i \cdot x_i + \sum_{\substack{i,k=1 \\ i < k}}^n b_{ik} \cdot x_i \cdot x_k + \sum_{i=1}^n b_{ii} \cdot x_i^2 \quad (4)$$

В изразите (1 – 4) отделните величини имат следния смисъл:

$I_{max} = (\sqrt{W_P^2 + W_Q^2}) / \sqrt{3} \cdot U \cdot T_{max}$ – максимална стойност на тока на захранващия фидер, пренасящ активна и реактивна енергия W_P и W_Q на напрежение U ;

$I_{cp.} = (\sqrt{W_P^2 + W_Q^2}) / \sqrt{3} \cdot U \cdot T_{max}$ – средна стойност на тока за интервал от време T D_I – дисперсия на тока, определен от изразите:

$$D_I = [(I_{max.} - I_{cp.})(I_{cp.} - I_{min.})] / (I_{max.} - I_{cp.} - 2 \cdot I_{min.})$$

за $\lambda < 1$ и

$$D_I = [(I_{max.} - I_{cp.})(I_{cp.} - I_{min.})] / (I_{max.} + I_{cp.} - 2 \cdot I_{min.})$$

за $\lambda \geq 1$; $\lambda = (I_{cp.} - I_{min.}) / (I_{max.} - I_{cp.})$; τ и τ^* – абсолютни и относителни стойности на времето на максималните загуби в годишен разрез; $\tau = (0,124 + T_{max} \cdot 10^{-4}) \cdot 8760$;

$T_{max.} = (I_{cp.} / I_{max.}) \cdot 8760 = W_P / D_{max.}$; K_{Φ} – коефициент на формата на груповия товаров график (Т.Г.); $R_{екв.}$ – еквивалентно съпротивление на ЕСС на промишления обект; γ – коефициент характеризиращ броя на товарите и съпротивлението на захранващата мрежа; b_0, b_i, b_{ik}, b_{ii} – регресионни коефициенти на математическия модел (ММ) съответно: свободен член, пред първите степени на съществените фактори (СФ) X_i , ефекти на взаимодействие и пред квадратичните членове на изходния параметър (ИП) ΔP .

Всеки от разглежданите методи се характеризира с определени допускания, които определят погрешността на метода, наречена методическа погрешност N_M . Неточностите в изходната информация дефинират т.н. информационна погрешност N_{II} . $R_{екв.}$ зависи от точността при определяне на товарите и схемотехническите особености, и в тази връзка се въвежда т.н. погрешност от еквивалентирание N_E . Измерването на различните величини ($I_{cp.}$, I_{max} , I_{min} и др.) е свързано с апаратурната погрешност N_A , която зависи от точността на измервателните прибори, субективни грешки при визуализация на информацията и др. Погрешност от неадекватност N_H се получава в резултат на несъвпадение на моментите на замерване в различните контролни точки.

При Гаусово (нормално) разпределение, вероятността отклонението на погрешността N , по абсолютна стойност разглеждана като с.в., да бъде по-малко от $\pm 3\sigma_N$ е равна на 0,9973. Следователно интервала с дължина $6\sigma_N$ и средно математическо очакване (м.о.) $M[N]$, е практическо поле на симетрично разсейване на разпределената по нормален закон с.в. N с максимална и минимална стойност N_{max} и N_{min} [1]:

$$N = \sigma_N = 0,1666 \cdot \Delta N \quad ; \quad \Delta N = N_{max} - N_{min}$$

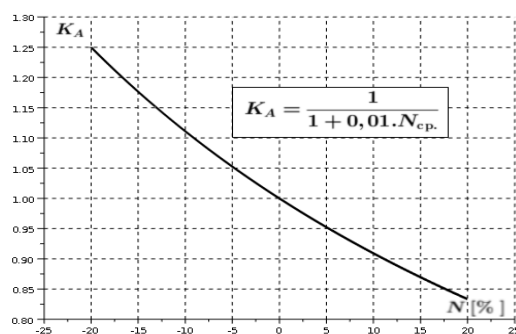
При несиметрично спрямо м.о. разпределение на погрешността, чиято средна стойност не е нула, степента на асиметрия се характеризира с коефициента на асиметрия A_N [2]:

$$A_N = \frac{\mu_3}{\sigma_N^3} = \frac{n^2 \cdot \sum_{i=1}^N (N_i - N_{cp.})^3}{(n-1)(n-2) \cdot \sigma_N^3} \quad (5)$$

където: μ_3 – централен момент на с.в.; σ_N – средноквадратично отклонение на с.в. N ; n – брой на дискретните стойности на с.в.;

В съответствие с (5) и [1], при средна погрешност $N_{cp.} \neq 0$, за да се приведе с.в. N в симетричен вид, от N_{max} и N_{min} се изважда $N_{cp.}$ и погрешността се коригира с коефициента K_A , определен от израза (фиг. 1):

$$K_A = (1 + 0,01 \cdot N_{cp.})^{-1} \quad (6)$$



Фиг.1

Сумарната погрешност N_{Σ} се определя като средноквадратична погрешност от парциалните погрешности N_M , N_{II} , N_A и N_H :

$$N_{\Sigma} = \sqrt{N_M^2 + N_{II}^2 + N_E^2 + N_A^2 + N_H^2} \quad (7)$$

◆ метод 1

Апаратурната погрешност N_A на тока I_{max} , при клас на точност на измервателните прибори 1,5 се определя от (1) и има стойност $N_A' = 0,166[1,5 - (-1,5)] = 0,1663 \approx 0,9\%$.

Грешката при визуализация на информацията при съвременната измервателна техника е приблизително $N_A \approx 4\%$, а грешката N_A от несъвпадането на момента на снемане на информацията с момента на максимума на товара $I_{\max}$ е около (-10%) . Тази грешка е винаги отрицателна (предизвиква занижаване на товара), т.е. нейното разпределение е несиметрично, като корекционния коефициент K_A , се определя от фиг. 1 или от (6):

$$K_A = [1 + (-0,1)]^{-1} = 1,111$$

Следователно средноквадратичната погрешност за $I_{\max}$ ще бъде $N_A = \sqrt{0,5^2 + 4^2 + 1,11^2} \approx 4,18\%$

Загубите на мощност и ел. енергия са свързани с товара и напрежението в квадратична зависимост и е по-адекватно грешката N_A да се оценява с коефициента на вариация $V\%$, определен от :

$$V = \frac{\sigma_N}{M[N]} \cdot 100\% = \frac{2 \cdot N_A}{(1 + N_A^2 \cdot 100^{-2})} [\%] \quad (8)$$

Изследванията показват, че средно-квадратичната грешка N_τ за времето на максималните загуби τ е в границите $(12 - 13\%)$, а средноквадратичната грешка при еквивалентирание N_E е приблизително 5% . Следователно за N_Σ се получава стойността

$$N_\Sigma^1 = \sqrt{2 \cdot N_A / (1 + N_A^2 \cdot 100^{-2}) + N_\tau^2 + N_E^2} = \sqrt{2 \cdot 4,18 / (1 + 4,18^2 \cdot 100^{-2}) + 13^2 + 5^2} \approx 14,25 [\%]$$

◆ метод 2

Погрешността при отчитане на W_P и W_Q е около $1,5\%$. Същата стойност има грешката при определяне на K_Φ . Погрешността при определяне на напрежението в израза (2) е по-сложно т.к. е свързано с анализ на режимите на напрежение при минимално и максимално натоварване и е в границите $(7 - 9)\%$, или средно 8% . Ако се приеме средна стойност за $N_A = 5\%$ се получава

$$N_\Sigma^2 = \sqrt{1,5^2 + 1,5^2 + 8^2 + 5^2} \approx 9,67 [\%]$$

◆ метод 3

По аналогичен начин се анализира погрешността и за този метод, като се има предвид, че параметърът зависи от структурата на захранващата мрежа и сложността на електрическата схема и може да се определи доста точно с вероятност за грешка до 1% . Погрешността при определяне на $I_{\text{ср.}}$ и D_I може да се сведе в границите $(3 - 7)\%$, или средно 5% , така че сумарната погрешност за този метод е

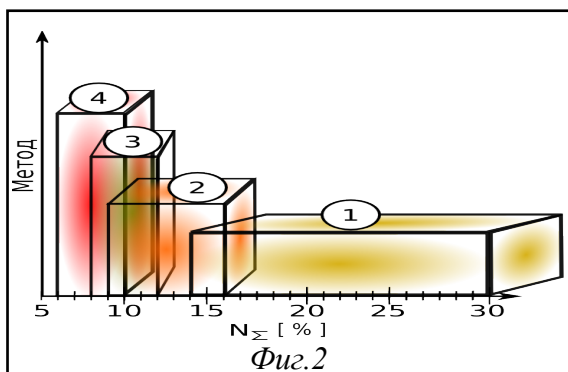
$$N_\Sigma^3 = \sqrt{1,5^2 + 5^2 + 1^2 + 5^2 + 5^2} \approx 8,85 [\%]$$

◆ метод 4

Този метод се базира на прилагане на многофакторен подход, чрез използване на ТПЕ. Точността на метода в голяма степен зависи от правилната подредба на С.Ф. Техния брой по принцип е доста голям, като могат да се обособяват две характерни групи – С.Ф. от режимен характер и от схемотехнически характер. И двата вида С.Ф. допускат еквивалентирание. За С.Ф. могат да се използват W_A , P , Q , сумарната дължина и броя на линиите L и n , съответно на магистралите и отклоненията от тях L_M , n_M , L_0 , n_0 ; $R_{\text{екв.}}$; K_Φ ; мощността, броя и коефициента на трансформация на силовите трансформатори $S_{\text{СТ}}$, $n_{\text{СТ}}$, K_T ; мощността на източниците на реактивна мощност $Q_{\text{ИРМ}}$, мощността на компенсиращите уредби Q_K , отклонението на напрежението δU и др.

Необходимо е да се оптимизира броя на С.Ф., като се използват такива които имат резултативно въздействие върху ΔP , какъвто С.Ф. е например $R_{\text{екв.}}$. По този начин се усилва корелационната връзка между С.Ф. и се подобрява точността. Съществено предимство на този метод е възможността за определяне на оптимални области на изменение както на ИП така и на С.Ф. Съчетаването на тези предимства, отчитането на динамиката на режимните параметри и схемотехническите параметри, свежда погрешността на метода до граници

$$N_\Sigma^4 = (5 \div 10) [\%]$$



Фиг. 2

Обобщавайки горните резултати, на фиг. 2 е представена в графичен план градация на разглежданите интегрални методи в зависимост от тяхната погрешност N_{Σ} .

Известно завишаване на тези стойности се получава след отчитане на методическата погрешност N_M и погрешността от неадекватност N_H .

Представените условно наречени методи N , са апробирани при определяне на ΔW и ΔP в 59 промишлени обекта от различни отрасли на промишлеността. Направен е също така пълен баланс на загубите в отделните елементи на ЕСС, чрез използване на апаратурни способности, с прецизна апаратура (метод А), т.е. приложен е диференциран подход за оценка на загубите по отделни звена, който се отличава с много висока точност. Сравнителния анализ на резултатите, получени по метод А с резултатите от останалите методи е проведен чрез оценка на две статистически характеристики – ниво на обоснованост B_{AN} и ниво на тъждественост T_{AN} на методите N по отношение на метода А.

• ниво на обоснованост B_{AN} .

Определя се с помощта на корелационен коефициент, отчитащ статистическата връзка между определените по А метода и по N метода ΔW и ΔP :

$$\left. \begin{aligned} B_{AN}^{\Delta W} &= \frac{\sum_{i=1}^{59} (\Delta W_i^A - \Delta W_{cp}^A) (\Delta W_i^N - \Delta W_{cp}^N)}{\sqrt{\sum_{i=1}^{59} (\Delta W_i^A - \Delta W_{cp}^A)^2 \cdot \sum_{i=1}^{59} (\Delta W_i^N - \Delta W_{cp}^N)^2}} \\ B_{AN}^{\Delta P} &= \frac{\sum_{i=1}^{59} (\Delta P_i^A - \Delta P_{cp}^A) (\Delta P_i^N - \Delta P_{cp}^N)}{\sqrt{\sum_{i=1}^{59} (\Delta P_i^A - \Delta P_{cp}^A)^2 \cdot \sum_{i=1}^{59} (\Delta P_i^N - \Delta P_{cp}^N)^2}} \end{aligned} \right\} (9)$$

Препоръчва се следната градация за оценка на обосноваността на изследваните методи :

- ✗ $0,3 \leq B_{AN} < 0,4$ – ниска обоснованост на метода ;
- ✗ $0,4 \leq B_{AN} < 0,6$ – средна обоснованост на метода ;
- ✗ $B_{AN} \geq 0,6$ – висока обоснованост на метода ;

• ниво на тъждественост T_{AN} .

Показва каква част от резултатите определени по А метода съвпадат в статистически смисъл с тези определени по метода N . Ако $T_{AN} = 1$ всички определени стойности за ΔW или ΔP по N метода съвпадат с тези, определени по А метода и това е най-голяма тъждественост на разглеждания N метод. Оценка се извършва с помощта на изразите:

$$\left. \begin{aligned} T_{AN}^{\Delta W} &= \frac{\left(59 \cdot \sum_{i=1}^{59} \Delta W_i^A \cdot \Delta W_i^N - \sum_{i=1}^{59} \Delta W_i^A \cdot \sum_{i=1}^{59} \Delta W_i^N \right)^2}{\left[59 \cdot \sum_{i=1}^{59} (\Delta W_i^A)^2 - \sum_{i=1}^{59} \Delta W_i^A \cdot \sum_{i=1}^{59} \Delta W_i^N \right] \left[59 \cdot \sum_{i=1}^{59} (\Delta W_i^N)^2 - \sum_{i=1}^{59} \Delta W_i^A \cdot \sum_{i=1}^{59} \Delta W_i^N \right]} \\ T_{AN}^{\Delta P} &= \frac{\left(59 \cdot \sum_{i=1}^{59} \Delta P_i^A \cdot \Delta P_i^N - \sum_{i=1}^{59} \Delta P_i^A \cdot \sum_{i=1}^{59} \Delta P_i^N \right)^2}{\left[59 \cdot \sum_{i=1}^{59} (\Delta P_i^A)^2 - \sum_{i=1}^{59} \Delta P_i^A \cdot \sum_{i=1}^{59} \Delta P_i^N \right] \left[59 \cdot \sum_{i=1}^{59} (\Delta P_i^N)^2 - \sum_{i=1}^{59} \Delta P_i^A \cdot \sum_{i=1}^{59} \Delta P_i^N \right]} \end{aligned} \right\} (10)$$

В таблица 1 са представени оценките за нива на тъждественост и обоснованост определени с изрази (9) и (10).

Табл. 1

Статистически характеристики	Методи N			
	N1 (метод с ф.)	N2 (метод с ф.)	N3 (графичен метод)	N4 (вер. - стат. метод)
$B_{AN}^{\Delta W}$	0,539	0,584	0,735	-

B_{AN}^{AP}	-	-	-	0,822
T_{AN}^{AW}	0,495	0,513	0,681	-
T_{AN}^{AP}	-	-	-	0,735

Вижда се, че метод 4 има най-високи нива на обоснованост и тъждественост и като се вземе предвид високата му точност в съответствие с фиг. 2, може да се препоръча неговото прилагане за определяне на загубите на мощност и ел. енергия в ЕСС на промишлените обекти.

ИЗВОДИ

1. В направеното изследване са представени количествени оценки на погрешността и нивата на обоснованост и тъждественост за известни от теорията и практиката детерминирани (1 – 3) и вероятно – статистически (4) методи. Показа-

зана е градацията на тези методи по цитираните показатели и е потвърден по неоспорим начин приоритета на статистическите подходи пред детерминираниите.

2. Доказана и обоснована е високата точност и адекватност при прилагане и използване на ТПЕ за реални изследвания на загубите в ЕСС на пром. обекти.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Воротницкий В.Э. и др., Потери электроэнергии в электрических сетях., Энергоатомиздат, 1983.
- [2] Гмурман В.Е., Теория вероятностей и математическая статистика, М., Высшая школа, 1977.
- [3] Киров Р.М., Относно методите за определяне на конвенционалните загуби на мощност и ел. енергия в промишлени обекти, II национална конференция, Созопол 2010.