

РАСЧЕТ ИНТЕРВАЛА НЕОПРЕДЕЛЁННОСТИ ПОТЕРЬ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЯХ

А.П.Левчук, канд.техн.наук,
Институт общей энергетики НАН Украины,
ул. Антоновича, 172, Киев, 03680, Украина.

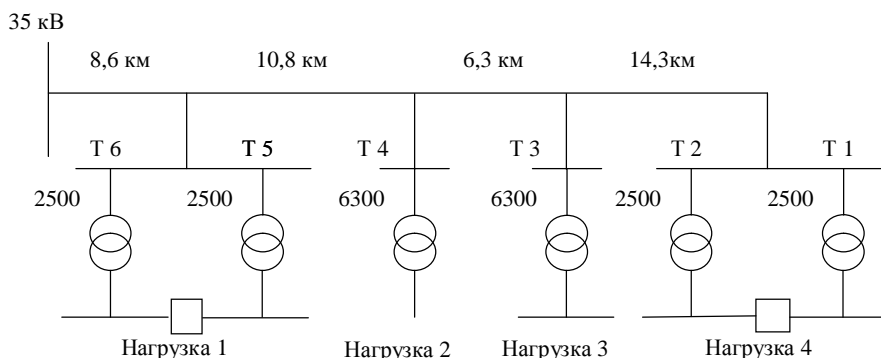
Приведено обоснование и основные аналитические зависимости для нахождения интервала неопределенности потерь в распределительных сетях при различной степени информационного обеспечения с использованием графиков нагрузок по продолжительности. Библи. 12, табл. 3, рис. 1.

Ключевые слова: потери в распределительных сетях, график нагрузки, интервал неопределенности

В работе [4] отмечено: "Расчеты интервалов неопределённости потерь вместо псевдоточных и детерминированных значений не только реально отражают возможную точность оценки расчетным путем фактического значения технических потерь при существующей полноте и точности исходной информации, но и позволяют улучшить организацию работ в области снижения потерь и повысить обоснованность принимаемых решений". В работах [5,6] на современном уровне и более подробно рассмотрено определение интервалов неопределенности потерь электроэнергии в различных сетях, но для этого используются методы и подходы, которые не позволяют определять взаимозависимости между основными параметрами графиков нагрузки распределительной сети по продолжительности, уточнять пределы их изменения и использовать их для расчета интервала неопределенности потерь электроэнергии в разветвленной электрической сети.

Статья посвящена определению нижней и верхней границ интервала неопределенности потерь в разветвленной распределительной сети (РС) 6–10–35 кВ (с известной схемой и с использованием графиков нагрузок по продолжительности) для установления новых взаимосвязей рассматриваемых ниже величин. В работе [1] описан расчет, который даёт достаточно точное значение потерь на участке линии распределительной сети без ответвлений и для этого необходима только информация о минимальном, максимальном и среднем токе (мощности) этого участка за расчетный период. Но в ней не указано, как использовать такой расчет для разветвлённой распределительной сети. В данной статье показано, как такой подход распространён на разветвлённые распределительные сети при условии, что возможно суммирование максимальной мощности ответвлений для получения максимальной мощности узлов. Это, конечно, вносит определённую неточность в расчеты потерь, но в настоящее время исключить эту неточность не представляется возможным. Расчет потерь электроэнергии будем производить, начиная с конца линии.

Рассмотрим определение технологических потерь электроэнергии (ТПЭ) в ЛЭП 35 кВ для четырех нагрузок (параметры сети с некоторыми изменениями взяты из [3]). Схема и исходные данные представлены на рисунке и в табл. 1, при этом удельное активное сопротивление линии $\rho=0,27$ Ом/км; расчетное время определения потерь $T=720$ ч.



Расчет.

Примем, что $\operatorname{tg}\varphi$ одинаков для всех четырех нагрузок:
 $\operatorname{tg}\varphi=(W_1/\mathcal{E}_1)=$
 $= (206990/689967)=0,3.$

Максимальные токи нагрузок:
 $I_{\max 1}=(P_{\max 1}/3^{1/2}U_{л})(1+\operatorname{tg}\varphi^2)^{1/2}=$
 $=42,63 \text{ А}; \quad I_{\max 2}=106,1 \text{ А};$
 $I_{\max 3}=84,92 \text{ А}; \quad I_{\max 4}=66,13 \text{ А}.$

Средние токи нагрузок:

$$I_{cp1}=(\mathcal{E}_1/3^{1/2}U_{лT})(1+\operatorname{tg}\varphi^2)^{1/2}=16,5 \text{ А}; \quad I_{cp2}=22,24 \text{ А}; \quad I_{cp3}=21,32 \text{ А}; \quad I_{cp4}=43,92 \text{ А}.$$

В работе [7] на основе метода числа часов максимальных потерь выведены формулы получения минимальных токов нагрузок по известным максимальным. Но, как отмечено в [1,2], метод максимальных потерь завышает значение потерь, поэтому найденные на его основе минимальные токи также приводят к отмеченным погрешностям.

Таблица 1

	Нагрузка 1	Нагрузка 2	Нагрузка 3	Нагрузка 4
Трансформаторы	Т-5	Т-4	Т-3	Т-1
	Т-6			Т-2
$S_{ном,i}$, кВА	2500	6300	6300	2500
	2500			2500
$P_{max,i}$, кВт	2475	6161	4931	1909
	0			1931
l_i , км	8,6	10,8	6,3	14,3
\mathcal{E}_i , кВтч	689967	929554	891068	915875
	0			920117
W_i , кВАр	206990	278866	267321	274763
	0			276035

Более приемлемым, на наш взгляд, является нахождение минимальных токов нагрузок в РС 10–35 кВ с использованием коэффициента формы (κ_ϕ) графика нагрузки (ГН). В работе [8] дана оценка для κ_ϕ РС 6–110 кВ в виде $\kappa_\phi=1,05\div 1,15$, в работе [1] эта же величина оценивается в пределах $\kappa_\phi=1,02\div 1,06$. Используя

первую оценку, определим необходимые для нахождения дисперсии тока, определенной ниже, величины минимальных токов нагрузок. Как известно, $I_{ск}=\kappa_\phi I_{cp}$, где $I_{ск}$, I_{cp} – среднеквадратичный и средний токи. Учитывая, что $I_{ск}^2=I_{cp}^2+D[I]$, где $D[I]$ – дисперсия тока, имеем $I_{cp}^2+D[I]=\kappa_\phi^2 I_{cp}^2$ [11], или $dI_{cp}^2=D[I]$, где

$$d=\kappa_\phi^2-1, \quad (1)$$

и с учётом [3] $d=(1,05\div 1,15)^2-1=0,1025\div 0,3225$. Для $\lambda=(I_{cp}-I_{\min})/(I_{\max}-I_{cp})\geq 1$ имеем [1]

$$D[I]=\frac{(I_{\max}-I_{cp})^2(I_{cp}-I_{\min})}{2I_{\max}-I_{cp}-I_{\min}}=dI_{cp}^2, \quad (2)$$

откуда

$$I_{\min}=\frac{I_{\max}^2-2I_{\max}I_{cp}(1+d)+I_{cp}^2(1+d)}{(I_{\max}^2/I_{cp})+I_{cp}(1-d)-2I_{\max}}. \quad (3)$$

Используя выражение для λ и то, что $\lambda\geq 1$, с учетом выражения (3), оценим сверху d . Тогда

$$d\leq(I_{\max}/I_{cp}-1)^2/3, \quad (4)$$

а для κ_ϕ с учётом (1) имеем

$$\kappa_\phi\leq\sqrt{\left(I_{\max}/I_{cp}-1\right)^2/3+1}.$$

Для $\lambda<1$ согласно [1]

$$D[I]=\frac{(I_{\max}-I_{cp})(I_{cp}-I_{\min})^2}{I_{\max}+I_{cp}-2I_{\min}}=dI_{cp}^2, \quad (5)$$

что приводит к следующему квадратному уравнению

$$(I_{\max}-I_{cp})I_{\min}^2-2I_{cp}\left[I_{\max}-I_{cp}(1+d)\right]I_{\min}-I_{cp}^2\left[I_{cp}(1+d)-I_{\max}(1-d)\right]=0,$$

откуда

$$I_{\min}=\frac{\left[I_{\max}-I_{cp}(1+d)\right]\pm\left[d(I_{\max}-I_{cp})^2+d^2I_{cp}^2\right]}{(I_{\max}/I_{cp})-1}. \quad (6)$$

I_{\min} находится как второй корень с отрицательным вторым слагаемым, поскольку решение с положительным вторым слагаемым, как показал анализ, неприемлемо. При этом второй множитель второго слагаемого подкоренного выражения должен быть положительным $I_{\max}(1-d)-I_{cp}(1+d)>0$, откуда

$$d < (I_{\max} - I_{cp}) / (I_{\max} + I_{cp}), \quad (7)$$

или для κ_{ϕ} с учётом (1) $\kappa_{\phi} < \sqrt{2I_{\max} / (I_{\max} + I_{cp})}$.

Аналогично можно оценить d снизу, используя то, что для рассматриваемого случая $\lambda < 1$,

$$d > (I_{\max} / I_{cp} - 1)^2 / 3, \quad (8)$$

при котором $\kappa_{\phi} > \sqrt{(I_{\max} / I_{cp} - 1)^2 / 3 + 1}$.

Остановимся более подробно на неравенствах (4) и (8). Из них вытекает, что при

$$d = (I_{\max} / I_{cp} - 1)^2 / 3 \quad (9)$$

$\lambda = 1$, превышение d этого значения дает $\lambda < 1$, а уменьшение – $\lambda \geq 1$. Таким образом, установлено взаимно однозначное соответствие между d и λ , причем в зависимости от величины d для определения I_{\min} необходимо использовать выражение (3) или (6).

Для четвертой нагрузки из рассматриваемого расчетного примера с учётом (7) и (8) имеем $0,2018 > d \geq 0,0852$, что соответствует $\kappa_{\phi} = 1,0417 \div 1,096$. Поскольку этому диапазону изменения κ_{ϕ} из [1] соответствует $\kappa_{\phi} = 1,02 \div 1,06$, то его и выберем для этой нагрузки. При этом минимальные токи определяются из следующих выражений. Для $\kappa_{\phi} = 1,02$ из (3) находится $I'_{\min 4} = 35,59$ А, а из (2) – $D_4[I] = 77,9$ А².

Потери энергии на i -ом участке линии без ответвлений равны

$$\Delta \mathcal{E}_i = 3T\rho l_i \{I_{cpi}^2 + D_i[I]\}, \quad (10)$$

где T – время расчетного периода; ρ , l_i , I_{cpi} , $D_i[I]$ – соответственно погонное сопротивление участка линии, длина участка, средний ток участка, дисперсия тока на участке. Минимальные потери энергии на рассматриваемом четвертом участке с учётом (10) равны $\Delta \mathcal{E}_{\min 4} = 16736$ кВт ч.

Для этого же участка линии, но с $\kappa_{\phi} = 1,06$, из (6) находится: $I''_{\min 4} = 14,38$ А, а из (2) – $D_4''[I] = 238,4$ А². Таким образом, максимальные потери энергии на четвёртом участке согласно (10): $\Delta \mathcal{E}_{\max 4} = 18075$ кВт ч.

Для третьего участка линии имеем: $I'_{\max 3} = I_{\max 3} + I_{\max 4} = 151,05$ А; $I'_{cp3} = I_{cp3} + I_{cp4} = 65,24$ А. По (9) находим $d_3 = 0,577$.

Для диапазона $\kappa_{\phi} = 1,05 \div 1,15$ имеем $\lambda \geq 1$ и, соответственно, находим минимальные токи для $\kappa_{\phi} = 1,05$ по (3): $I'_{\min 3} = 54,43$ А, и дисперсию по (2) – $D_3'[I] = 436,26$ А². При этом минимальные потери энергии согласно (10) $\Delta \mathcal{E}_{\min 3} = 17241$ кВт ч.

Для $\kappa_{\phi} = 1,15$ имеем $I''_{\min 3} = 28,87$ А; $D_3''[I] = 1287,5$ А²; $\Delta \mathcal{E}_{\max 3} = 20368$ кВт ч.

Аналогично находятся потери на участках 2 и 1 линии.

На участке 2: $I'_{\max 2} = I_{\max 2} + I_{\max 3} + I_{\max 4} = 257,15$ А; $I'_{cp2} = I_{cp2} + I_{cp3} + I_{cp4} = 87,48$ А; $d_2 = 0,976$.

При $\kappa_{\phi} = 1,05$: $I'_{\min 2} = 77,97$ А; $D_2'[I] = 784,4$ А²; $\Delta \mathcal{E}_{\min 2} = 53142$ кВт ч.

При $\kappa_{\phi} = 1,15$: $I''_{\min 2} = 57,8$ А; $D_2''[I] = 2315$ А²; $\Delta \mathcal{E}_{\max 2} = 62782$ кВт ч.

На участке 1: $I'_{\max 1} = I_{\max 1} + I_{\max 2} + I_{\max 3} + I_{\max 4} = 299,78$ А; $I'_{cp1} = I_{cp1} + I_{cp2} + I_{cp3} + I_{cp4} = 103,98$ А; $d_1 = 1,18$;

При $\kappa_{\phi} = 1,05$: $I'_{\min 1} = 92,32$ А; $D_1'[I] = 1108$ А²; $\Delta \mathcal{E}_{\min 1} = 59785$ кВт ч.

При $\kappa_{\phi} = 1,15$: $I''_{\min 1} = 67,46$ А; $D_1''[I] = 3271$ А²; $\Delta \mathcal{E}_{\max 1} = 70632$ кВт ч.

При этом верхняя граница потерь электроэнергии равна:

$$\Delta \mathcal{E}_{\max} = \sum_i \Delta \mathcal{E}_{\max i} = 70632 + 62782 + 20368 + 18075 = 171857 \text{ кВт ч, или в процентном отношении}$$

$$\Delta \mathcal{E}_{\max} \% = \frac{\Delta \mathcal{E}_{\max}}{\mathcal{E}} 100\% = \frac{171857}{4346581} 100\% = 3,95\% .$$

Нижняя граница потерь электроэнергии равна

$\Delta \mathcal{E}_{\min} = \sum_i \Delta \mathcal{E}_{\min i} = 59785 + 53142 + 17241 + 16736 = 146904$ кВт ч, или в процентном отношении к

отпущенной энергии: $\Delta \mathcal{E}_{\min} \% = \frac{\Delta \mathcal{E}_{\min}}{\mathcal{E}} 100\% = \frac{146904}{4346581} 100\% = 3,38\%$.

Если нет значений максимального и минимального тока ГН, но имеется гостированная устойчивая характеристика ГН заданной нагрузки – коэффициент неравномерности ГН [12]

$$\alpha = (I_{\min}/I_{\max}), \quad (11)$$

то нахождение максимального и минимального токов ГН может быть проведено на основе соотношений: для $\lambda \geq 1$ $dI_{cp}^2 = (I_{\max} - I_{cp})^2 (I_{cp} - I_{\max} \alpha) / (2I_{\max} - I_{cp} - I_{\max} \alpha)$.

После соответствующих преобразований приходим к следующему уравнению:

$$\alpha \gamma^3 - 2(\alpha + 1)\gamma^2 + [2(d + 1) + \alpha(1 - d)]\gamma - (d + 1) = 0. \quad (12)$$

где $\gamma = (I_{\max}/I_{cp})$.

Это кубическое уравнение при подстановке Кардано [10] и замене переменных $\gamma = y + (2\alpha + 1)/3\alpha$ приводится к виду $y^3 + py^2 + q = 0$, где

$$p = -\frac{1}{3} \left(\frac{2\alpha + 1}{\alpha} \right)^2 + \frac{2(d + 1) + \alpha(1 - d)}{\alpha}; \quad q = -\frac{2}{27} \left(\frac{2\alpha + 1}{\alpha} \right)^3 + \frac{(2\alpha + 1)[2(d + 1) + \alpha(1 - d)]}{3\alpha^2} - \frac{d + 1}{\alpha};$$

и дискриминант уравнения $Q = (p/3)^3 + (q/2)^2$.

Поверочный расчет для 1, 2 и 3 нагрузок показал, что $Q < 0$ и $p < 0$, при этом используется тригонометрическое решение кубического уравнения [9]. В таком случае

$$y_1 = 2\sqrt{-\frac{p}{3}} \cos \frac{\varphi}{3}; \quad y_{2,3} = -2\sqrt{-\frac{p}{3}} \cos \left(\frac{\varphi \pm \pi}{3} \right), \quad \text{где } \varphi = \arccos \left\{ -0,5q \left[-(p/3)^3 \right]^{-0,5} \right\}.$$

Как показали расчеты для 1, 2 и 3 нагрузок, приемлемым является второй корень. Таким образом, окончательно:

$$\gamma = \frac{2\alpha + 1}{3\alpha} - 2\sqrt{-\frac{p}{3}} \cos \left[\frac{\varphi + \pi}{3} \right]. \quad (13)$$

При этом, с учётом (11) и (12) находим максимальный и минимальный токи нагрузок:

$$I_{\max} = \gamma I_{cp} = \left\{ \frac{2\alpha + 1}{3\alpha} - 2\sqrt{-\frac{p}{3}} \cos \left[\frac{\varphi + \pi}{3} \right] \right\} I_{cp}; \quad I_{\min} = \alpha I_{\max} = \left\{ \frac{2\alpha + 1}{3\alpha} - 2\sqrt{-\frac{p}{3}} \cos \left[\frac{\varphi + \pi}{3} \right] \right\}^2 \alpha I_{cp}.$$

В дальнейшем расчет нижней и верхней границ интервала неопределённости потерь производится аналогично вышеописанному с использованием соотношений (2), (10).

Для $\lambda < 1$ имеем
$$dI_{cp}^2 = \frac{(I_{\max} - I_{cp})(I_{cp} - I_{\max} \alpha)^2}{I_{\max} + I_{cp} - 2I_{\max} \alpha}.$$

После соответствующих преобразований с учетом $\gamma = (I_{\max}/I_{cp})$ имеем:

$$\alpha^2 \gamma^3 - (\alpha^2 + 2\alpha)\gamma^2 + [2\alpha(d + 1) + 1 - d]\gamma - (d + 1) = 0.$$

Решение его производится аналогично предыдущему: $\gamma = y + (\alpha^2 + 2\alpha)/3\alpha^2$;

$$p = -\frac{1}{3} \left(\frac{\alpha + 2}{\alpha} \right)^2 + \frac{2\alpha(d + 1) + 1 - d}{\alpha^2}; \quad q = \frac{2}{27} \left(-\frac{\alpha + 2}{\alpha} \right)^3 + \frac{(\alpha + 2)[2\alpha(d + 1) + 1 - d]}{3\alpha^3} - \frac{d + 1}{\alpha^2}.$$

Поверочный расчет для четвертой нагрузки показал, что $Q < 0$ и $p < 0$, при этом исходное кубическое уравнение имеет один действительный корень, а два другие – комплексно сопряженные [9]. Окончательно γ находим из следующего выражения:

$$\gamma = \sqrt[3]{-\frac{q}{2} + \sqrt{Q}} + \sqrt[3]{-\frac{q}{2} - \sqrt{Q}} + \frac{\alpha + 2}{3\alpha}. \quad (14)$$

При этом, аналогично, как и для $\lambda \geq 1$, с учётом (11) и (12) находим максимальный и минимальный токи нагрузок

$$I_{\max} = \gamma I_{cp} = \left(\sqrt[3]{-\frac{q}{2} + \sqrt{Q}} + \sqrt[3]{-\frac{q}{2} - \sqrt{Q}} + \frac{\alpha + 2}{3\alpha} \right) I_{cp};$$

$$I_{\min} = \gamma \alpha I_{\max} = \left(\sqrt[3]{-\frac{q}{2} + \sqrt{Q}} + \sqrt[3]{-\frac{q}{2} - \sqrt{Q}} + \frac{\alpha + 2}{3\alpha} \right)^2 \alpha I_{cp}.$$

В дальнейшем расчет нижней границы интервала неопределённости потерь производится аналогично вышеописанному с учётом (5), (10).

Для установления взаимосвязи коэффициентов α , γ и κ_ϕ и, воспользовавшись соотношениями (13) и (14), построим табл. 2.

Таблица 2

Кф	1	1,0005	1,0021	1,0052	1,0104	1,0184	1,0302	1,0472	1,0715	1,106	1,1547
a											
1	1										
0,9		1,0526	1,1592	1,1765	1,1909	1,2031	1,2132	1,2216	1,2285	1,234	1,2383
0,8		1,0363	1,1111	1,3452	1,3737	1,4015	1,4286	1,4552	1,4813	1,5068	1,5317
0,7		1,0339	1,0834	1,1765	1,5904	1,6323	1,6755	1,7207	1,7681	1,8182	1,8715
0,6		1,0329	1,0768	1,1399	1,25	1,9277	1,9886	2,054	2,1252	2,2034	2,2903
0,5		1,0324	1,0736	1,1285	1,2061	1,3333	2,4159	2,5066	2,6072	2,7203	2,8491
0,4		1,032	1,0718	1,1225	1,1895	1,283	1,4286	3,174	3,3155	3,477	3,6641
0,3		1,0318	1,0705	1,1187	1,1801	1,261	1,3725	1,5385	4,4823	4,7207	5
0,2		1,0316	1,0696	1,1161	1,1741	1,248	1,345	1,477	1,6667	7,1885	7,6469
0,1		1,0314	1,0686	1,1135	1,1681	1,2359	1,3215	1,4319	1,578	1,8182	15,549
0											2

В табл. 2 отмечены значения $\gamma(\alpha, \kappa_\phi)$, причем по основной диагонали (отмечено жирным) размещены значения γ , найденные из соотношения $\gamma=2/(1+\alpha)$ при $\lambda=1$, значения, γ , которые размещены ниже основной диагонали, отвечают $\lambda \geq 1$ и найдены из выражения (13), а те, что размещены над основной диагональю, отвечают $\lambda < 1$ и найдены из выражения (14).

Из проведенных расчетов и с помощью табл. 2 можно установить диапазоны изменения параметров α , γ и κ_ϕ . Диапазон изменения α от 0 до 1. Коэффициент формы κ_ϕ изменяется от $\kappa_\phi=1$, при этом $\gamma=1$, $\lambda=1$ и $\alpha=1$ (случай когда $I_{\max}=I_{cp}=I_{\min}$), до $\kappa_\phi=1,1547$ при $\gamma=2$ и $\lambda=1$ и $\alpha=0$. Диапазон изменения γ от 1, как уже отмечено, до ∞ , что возможно при действии дельта функции, которой в силовых цепях, естественно, не бывает, поэтому реально, например, для $\alpha=0,5$ из табл. 2 находим, что $\gamma < 3$.

Поскольку $1/\gamma = \beta$ – гостированный коэффициент заполнения графика нагрузки, то можно отметить, что диапазон его изменения от 1 до 0. Изменения $\beta(\alpha, \kappa_\phi)$ представлены в табл. 3.

Таблица 3

Кф	1	1,0005	1,0021	1,0052	1,0104	1,0184	1,0302	1,0472	1,0715	1,106	1,1547
a											
1	1										
0,9		0,95	0,8626	0,85	0,8397	0,8312	0,8242	0,8186	0,814	0,8104	0,8076
0,8		0,965	0,9	0,7434	0,7279	0,7135	0,7	0,6872	0,6751	0,6636	0,6529
0,7		0,9672	0,923	0,85	0,6288	0,6126	0,5968	0,5812	0,5656	0,55	0,5343
0,6		0,9681	0,9287	0,8773	0,8	0,5188	0,5029	0,4868	0,4705	0,4538	0,4366
0,5		0,9687	0,9314	0,8862	0,8291	0,75	0,4139	0,399	0,3836	0,3676	0,351
0,4		0,969	0,933	0,8909	0,8407	0,7794	0,7	0,3151	0,3016	0,2876	0,2729
0,3		0,9692	0,9341	0,8939	0,8474	0,793	0,7286	0,65	0,2231	0,2118	0,2
0,2		0,9694	0,9349	0,896	0,8517	0,8013	0,7435	0,6771	0,6	0,1391	0,1308
0,1		0,9696	0,9358	0,8981	0,8561	0,8091	0,7567	0,6983	0,6337	0,55	0,0643
0											0,5

Выводы.

Для распределительной сети 6–10–35 кВ с известной структурой выведены соотношения для расчета нижней и верхней границы интервала неопределенности потерь энергии в линии при двух уровнях информационного обеспечения: когда известны средний и максимальный (минимальный) токи или средний ток и коэффициенты неравномерности ГН - α для каждой из нагрузок линии.

Определены границы изменения коэффициента формы графика нагрузки κ_ϕ в зависимости от максимального и среднего токов нагрузки, а также зависимости $\beta(\alpha, \kappa_\phi)$ для двух поддиапазонов и диапазоны изменения параметров – $\alpha=0 \div 1$; $\kappa_\phi=1 \div 1,1547$; $\beta=1 \div 0$.

1. *Анисимов Л.П., Левин М.С., Пекелис В.Г.* Методика расчета потерь энергии в действующих распределительных сетях // Электричество. – 1975. – №4. – С. 27–30.

Anisimov L.P., Levin M.S., Pekelis V.G. Methodology of power loss calculation in operating distribution network // Elektrichestvo. – 1975. – №4. – P. 27–30. (Rus.)

2. *Денисов В.И.* Метод приближенного учета конфигурации графиков нагрузки при определении времени макс-симальных потерь // Вопросы экономики, производства, передачи и потребления (Сборник трудов, вып. 17а). – Москва: Министерство энергетики и электрификации СССР. Главниипроект, Энергетический институт им. Г.М.Кржижановского. – 1974. – С. 75–78.

Denisov V.I. Approximate calculation method of load curve configuration under maximum loss time determination // Voprosy ekonomiki, proizvodstva, peredachi i potrebleniia (Sbornik trudov, vyp. 17a). – Moskva: Ministerstvo energetiki i elektrifikatsii SSSR. Glavniiiproekt, Energeticheskii institut im. G.M.Krzhizhanovskogo. – 1974. – P. 75–78. (Rus.)

3. *Дерзкий В.Г., Каплин Н.И.* Методы расчета технологических потерь в электрических сетях и формирование системы розничных тарифов. – Киев: Институт общей энергетики НАН Украины, 1999. – 96 с.

Derzkii V.G., Kaplin N.I. Methods of process loss calculation in electrical networks and design of retail rate system. – Kiev: Institut obshchei energetiki Natsionalnoi Akademii Nauk Ukrainy, 1999. – 96 p. (Rus.)

4. *Железко Ю.С.* Выбор мероприятий по снижению потерь в электрических сетях. Руководство для практических расчетов. – Москва: Энергоатомиздат, 1989. – 176 с.

Zhelezko Yu.S. Selection of reduction losses measures in electrical networks. Manual for practical calculations. – Moskva: Energoatomizdat, 1989. – 176 p. (Rus.)

5. *Железко Ю.С.* Интервалы неопределенности расчетных потерь электроэнергии в электрических сетях // Электричество. – 2009. – №2. – С. 14–24.

Zhelezko Yu.S. Uncertainty intervals in calculated losses of power in electric networks // Elektrichestvo. – 2009. – №2. – P. 14–24. (Rus.)

6. *Железко Ю.С., Артемьев А.В., Савченко О.В.* Расчет, анализ и нормирование потерь электроэнергии в электрических сетях. – Москва: Издательство НЦ ЭНАС, 2008.

Zhelezko Yu.S., Artemev A.V., Savchenko O.V. Calculation, analysis and standardization of electric power loss in electrical networks. – Moskva: Izdatelstvo nauchno-tehnicheskogo tsentra ENAS, 2008. (Rus.)

7. *Загорський В.Г., Каплін М.І.* Особливості методики розрахунку технологічних витрат електроенергії у роз-подільних мережах енергосистем для формування за зонами доби тарифів на електроенергію // Проблеми загальної енергетики. – 2001. – №5. – С. 57–61.

Zagorskyi V.G., Kaplin M.I. Methodology features of calculation of process electric power losses in distribution networks of power systems for electricity prices formation according to the day time // Problemy zagalnoi eneretyky. – 2001. – №5. – P. 57–61. (Ukr.)

8. *Казанцев В.Н., Комлев Ю.М.* Расчет потерь энергии в распределительной сети при неполноценной информации о ее режиме // Электричество. – 1978. – №1. – С. 20–25.

Kazantsev V.N., Komlev Yu.M. Calculation of power losses in distribution system having incomplete information of its mode // Elektrichestvo. – 1978. – №1. – P. 20–25. (Rus.)

9. *Корн Г., Корн Т.* Справочник по математике для научных работников и инженеров. – 4-е изд. – Москва: Наука, Главная редакция физико-математической литературы. – 1978. – 832 с.

Korn G., Korn T. Handbook on mathematics for scientists and engineers. – 4-th ed. – Moskva: Nauka, Glavnaia redaksiia fiziko-matematicheskoi literatury. – 1978. – 832 p. (Rus.)

10. *Цыпкин А.Г. Справочник по математике для средних учебных заведений / Под ред. С.А.Степанова. – 3-е изд. – Москва: Наука, Главная редакция физико-математической литературы. – 1983. – 480 с.*

Zypkin A.G. Handbook on mathematics for secondary schools / Edited by S.A.Stepanova. – 3-td ed. – Moskva: Nauka, Glavnaia redaksiia fisiko-matematicheskoi literatury. – 1983. – 480 p. (Rus.)

11. *Потери электроэнергии в электрических сетях энергосистем / В.Э.Воротницкий, Ю.С.Железко, В.Н.Казанцев и др. Под ред. В.Н.Казанцева. – Москва: Энергоатомиздат, 1983. – 368 с.*

Losses of electric power in electrical networks of power systems / V.E.Vorotnytskyi, Yu.S.Zhelezko, V.N.Kazantsev and others. Edited by V.N.Kazantseva. – Moskva: Energoatomizdat, 1983. – 368 p. (Rus.)

12. *ГОСТ 19431-84. Энергетика и электрификация. Термины и определения. Введен в действие с 01.01.1986. – Взамен ГОСТ 19431-74. – Москва: Издательство стандартов, 1984.*

GOST 19431-84. Power and electrification. Terms and definitions. Put in force 01.01.1986. Instead of GOST 19431-74. – Moskva: Izdatelstvo standartov, 1984. (Rus.)

УДК 621.316.1.017

А.П.Левчук, канд.техн.наук,

Інститут загальної енергетики НАН України,

вул. Антоновича, 172, Київ, 03680, Україна.

Розрахунок інтервалу невизначеності втрат електроенергії в розподільних мережах

Наведено обґрунтування та основні аналітичні залежності для знаходження інтервалу невизначеності втрат у розподільних мережах при різній ступені інформаційного забезпечення з використанням графіків навантаження за тривалістю. Бібл. 12, табл. 3, рис. 1.

Ключові слова: втрати в розподільних мережах, графіки навантаження, інтервал невизначеності.

A.P.Levchuk,

Institute of General Energetic National Academy of Science of Ukraine,

Antonovicha, 172, Kyiv, 03680, Ukraine

Calculation of uncertainty interval of electricity losses in distribution network

The justification and main analytical dependences for finding the interval of losses uncertainty in distributed networks at different degree of dataware with the usage of load-duration curves have been given. References 12, tables 3, figures 1.

Key words: electricity losses distributed networks, the usage of load-duration curves, uncertainty interval.

Надійшла 13.05.2009

Received 13.05.2009