

ОБ ОПРЕДЕЛЕНИИ КОЭФФИЦИЕНТА ФОРМЫ ПРИ РАСЧЕТАХ ПОТЕРЬ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ С УЧЕТОМ ОГРАНИЧЕНИЙ В ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИИ

Докт. техн. наук БАЛАМЕТОВ А. Б., инж. МАМЕДОВ С. Г.

*Азербайджанский научно-исследовательский институт
энергетики и энергетического проектирования*

Известные методики расчета потерь электроэнергии в электрических сетях основаны на нормальных условиях эксплуатации и функционирования электроэнергетической системы и бесперебойном электроснабжении потребителей. При электроснабжении потребителей с ограничениями и перерывами известные выражения для определения числа часов наибольших потерь и коэффициента формы графика нагрузки имеют недопустимо высокие погрешности, и их применение становится неоправданным. В данной статье рассматриваются вопросы получения зависимости для коэффициента формы графиков нагрузки с учетом ограничений и перерывов в электроснабжении.

Для расчета нагрузочных потерь в распределительных электрических сетях применяются метод средних нагрузок, использующий формулу

$$\Delta W_H = \Delta P_{\text{ср}} k_{\text{ф}}^2 T,$$

и метод числа часов наибольших потерь

$$\Delta W_H = \Delta P_{\text{max}} \tau,$$

где $\Delta P_{\text{ср}}$ – потери мощности в сети при средних нагрузках узлов (или сети в целом) за время T ; $k_{\text{ф}}$ – коэффициент формы графика мощности или тока; ΔP_{max} – потери мощности в сети при максимальных нагрузках узлов; τ – число часов максимальных потерь.

В последнее время в отдельных электрических сетях наблюдаются перерывы в электроснабжении потребителей. При этом часть потребителей снабжается электроэнергией постоянно, а часть – с длительными перерывами.

Основными показателями графиков нагрузки при расчете потерь являются: число часов использования максимума нагрузки T_{max} , коэффициент заполнения графика нагрузки

$$k_z = \frac{N_{\text{ср}}}{N_{\text{max}}}.$$

Здесь $N_{\text{ср}}$ и N_{max} – среднее и максимальное значения графика нагрузки. В качестве N может рассматриваться любая из величин P , Q или I . Другой важной характеристикой графика нагрузок является отношение минимальной нагрузки к максимальной:

$$k_{\min} = \frac{N_{\min}}{N_{\max}}.$$

При расчетах потерь электроэнергии форму графика нагрузки характеризуют числом часов наибольших потерь τ и коэффициентом формы графика мощности k_{ϕ} , которые определяются:

$$\tau = \frac{M[N^2]T}{N_{\max}}; \quad k_{\phi}^2 = \frac{M[N^2]}{M^2[N]}, \quad (1)$$

где M – символ математического ожидания.

Наиболее точные значения τ и k_{ϕ} можно определить по известному графику нагрузки. Исследования, направленные на получение более точных зависимостей τ и k_{ϕ} от параметров, характеризующих графики нагрузки, привели к множеству расчетных формул. При неизвестных графиках нагрузки значения τ и k_{ϕ} можно рассчитать с помощью различных эмпирических часто используемых формул [1–9]. Такими в технической литературе являются следующие:

формула В. В. Кезевича [3], полученная простой заменой в формуле А. М. Залесского:

$$\tau = (0,124 + 0,876 k_3)^2 \cdot 8760; \quad (2)$$

формула «Энергосетьпроекта» [4]

$$\tau = \left[2k_3 - 1 + \frac{(1 - k_3)(1 - k_{\min})^2}{1 + k_3 - 2k_{\min}} \right] \cdot 8760. \quad (3)$$

Для практических расчетов потерь в сетях энергосистем было предложено использовать формулу Л. П. Анисимова, М. С. Левина и В. Г. Пекелеса [5]:

$$k_{\phi}^2 = 1 + \frac{(1 - k_3)^2 (k_3 - k_{\min})}{(2 - k_3 - k_{\min}) k_3^2} \quad \text{при } \lambda < 1; \quad (4)$$

$$k_{\phi}^2 = 1 + \frac{(1 - k_3)(k_3 - k_{\min})^2}{(1 + k_3 - 2k_{\min}) k_3^2} \quad \text{при } \lambda \geq 1,$$

$$\text{где } \lambda = \frac{k_3 - k_{\min}}{1 - k_3}.$$

Формула В. Н. Казанцева [2]

$$k_{\phi}^2 = 1 + \frac{3(1 - k_{\min})^2}{4(1 + k_{\min})^2}. \quad (5)$$

Из (1) можно получить зависимость между τ и k_Φ [6]

$$\tau = k_3^2 k_\Phi^2 \cdot 8760.$$

Формула (2) является наиболее точной для реальных графиков нагрузки из всех известных эмпирических зависимостей. Погрешности δ таких зависимостей определения τ и k_Φ можно найти в [3–6]. Среднеквадратичные погрешности использования известных формул при нормальных условиях эксплуатации электрических сетей составляли 3,5...12,0 % [7].

В [7] подробно рассмотрены различные эмпирические формулы и приведены погрешности определения τ от k_3 и $k_{\min}$, из которых видно, что максимальные погрешности могут достигать от –80 до 135 %, причем с уменьшением значения коэффициентов k_3 и $k_{\min}$ они продолжают возрастать.

В [7] отмечается, что любая формула для расчета τ и k_Φ , базирующаяся на учете только k_3 и $k_{\min}$, не может считаться лучше или хуже другой.

В [8] показано, что даже введение дополнительного параметра $k_{\min}$ не может в полной мере отразить влияние k_Φ , так как одному и тому же значению $k_{\min}$ соответствует широкий диапазон значений k_Φ .

Формулы, использующие два параметра k_3 и $k_{\min}$, не могут полностью воспроизвести различия графиков нагрузки. С другой стороны, только эти параметры известны при отсутствии графика. Поэтому погрешность в определении τ и k_Φ через k_3 и $k_{\min}$ полностью не может быть устранена. Величина этой погрешности растет для графиков, отличных от типовых.

Для анализа погрешности в определении k_Φ^2 для графиков мощности с учетом перерывов в электроснабжении были произведены сравнительные расчеты значений τ и k_Φ для возможных конфигураций графиков мощности (рис. 1) с учетом длительностей перерывов в электроснабжении 4, 8, 12, 16 и 20 часов за сутки. Параметры, характеризующие график нагрузки, для реальных графиков при бесперебойном электроснабжении потребителей: $k_{\min} = 0,2 \dots 0,6$; $k_3 > k_{\min} + 0,2$; $k_3 \leq k_{\min} + 0,4$ и $T_{\min} = 4 \dots 8$ часов. Ожидаемые диапазоны изменения параметров графика при электроснабжении потребителей с ограничениями и перерывами при продолжительности перерыва за сутки 0...20 часов и $k_{\min} = 0 \dots 0,2$; $k_3 > 0,167$; $k_3 \leq k_{\min} + 0,2$. При этом величины, характеризующие график мощности, меняются в пределах $k_3 = 0,167 \dots 0,722$; $k_{\min} = 0 \dots 0,33$; $T_{\min} = 0 \dots 20$.

Определены погрешности для графиков (рис. 1) по (2)–(5), зависимости которых от k_3 приведены на рис. 2.

Установлено, что применяемые в практике расчета потерь электроэнергии формулы при учете ограничений и перерывов в электроснабжении имеют погрешности, достигающие 250 %.

Используемые в практике зависимости по оценке τ и k_Φ сыграли существенную роль в развитии теории определения потерь энергии в электрических сетях. Однако их использование в условиях эксплуатации с учетом ограничений и перерывов в электроснабжении нежелательно, так как погрешности при оценке потерь с помощью этих зависимостей недопустимо высокие.

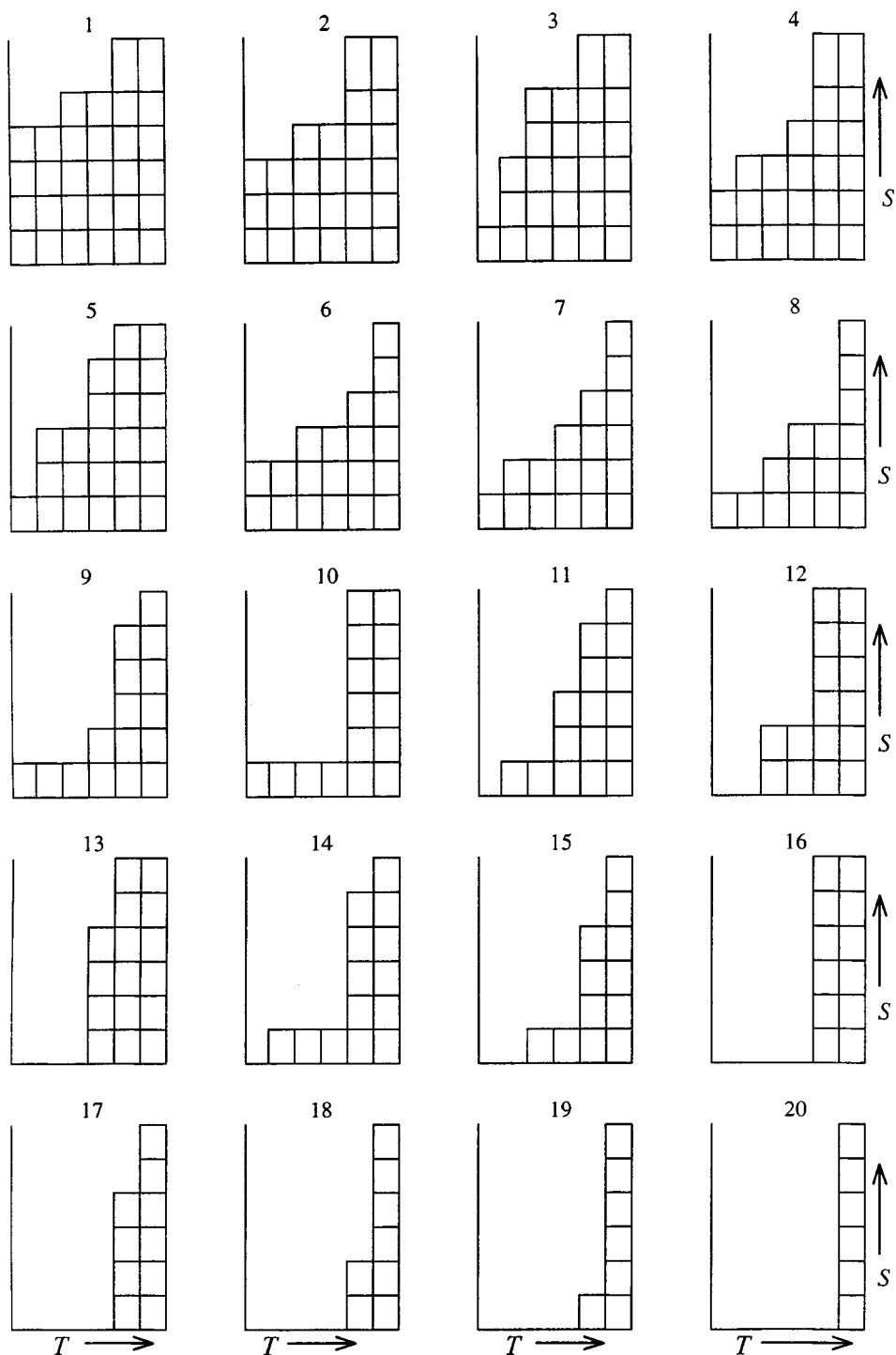


Рис. 1. Графики мощности с разными коэффициентами заполнения, минимальной нагрузкой, ограничениями и перерывами в электроснабжении

Определение значений τ и k_{ϕ} , зависящих от характера графика нагрузки, изучено недостаточно. В настоящей статье ставится задача дальнейшего исследования получения более точных зависимостей τ и k_{ϕ} с вводом

дополнительного параметра – времени продолжительности режима с минимальной нагрузкой $T_{\min}$. В качестве дополнительного параметра предлагается вводить коэффициент, характеризующий относительную продолжительность минимальной нагрузки графика:

$$k_{t\min} = \frac{T_{\min}}{T}. \quad (6)$$

Таким образом, график нагрузки предлагается характеризовать тремя параметрами k_3 , $k_{\min}$ и $k_{t\min}$.

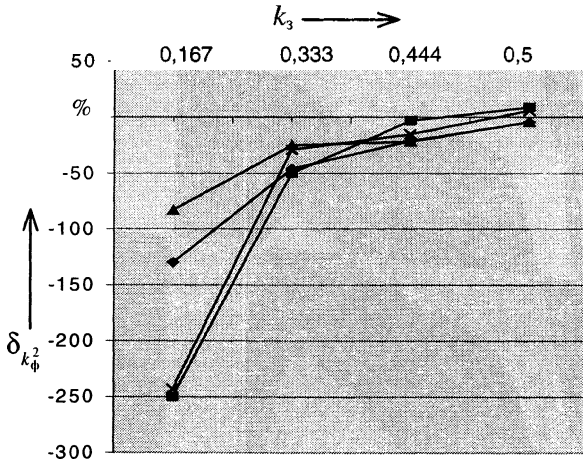


Рис. 2. Зависимости погрешностей определения k_{ϕ}^2 по (2)–(5) от k_3 : —◆— — формула Кезевича; —■— — «Энергосетьпроекта»; —▲— — Анисимова и др.; —×— — Казанцева

Анализ погрешностей применяемых в практике формул при учете ограничений и перерывов в электроснабжении [3] показывает, что они имеют систематический характер. Наиболее приемлемой из них является (4), поэтому на ее базе получена новая формула для расчета k_{ϕ}^2

$$k_{\phi}^2 = 1 + \frac{(1 - k_3)^2 (k_3 - k_{\min})}{(2 - k_3 - k_{\min}) k_3^2} + \left(\frac{0,5}{k_3} \right)^2 (k_{\min}) \left(\frac{1}{k_3} \right). \quad (7)$$

Для более точного описания k_{ϕ}^2 предлагается применение следующих формул в зависимости от величины λ :

$$k_{\phi}^2 = 1 + \frac{(1 - k_3)^2 (k_3 - k_{\min})}{(1 + k_3 - k_{\min}) k_3^2} + \left(\frac{k_{\min}}{k_3} \right)^2 \quad \text{при } \lambda \geq 1; \quad (8)$$

$$k_{\phi}^2 = 1 + \frac{(1 - k_3)^2 (k_3 - k_{\min})}{(2 - k_3 - k_{\min}) k_3^2} + 0,25 \left(\frac{k_{\min}}{k_3} \right)^2 \quad \text{при } 0,4 \leq \lambda < 1; \quad (9)$$

$$k_{\Phi}^2 = 1 + \frac{(1-k_3)^2(k_3 - k_{\min})}{(2-k_3 - k_{\min})k_3^2} + \left(\frac{0,5}{k_3}\right)^2 (k_{\min}) \left(\frac{1}{k_1}\right) \text{ при } \lambda < 0,4. \quad (10)$$

Для повышения точности (9), (10) при $k_{\min} < 0,1$ добавляется составляющая $0,5k_3$.

На рис. 3 приведены зависимости погрешностей определения k_{Φ}^2 по (4) и предлагаемым (7)–(10) от k_3 , $k_{\min}$ и $T_{\min}$.

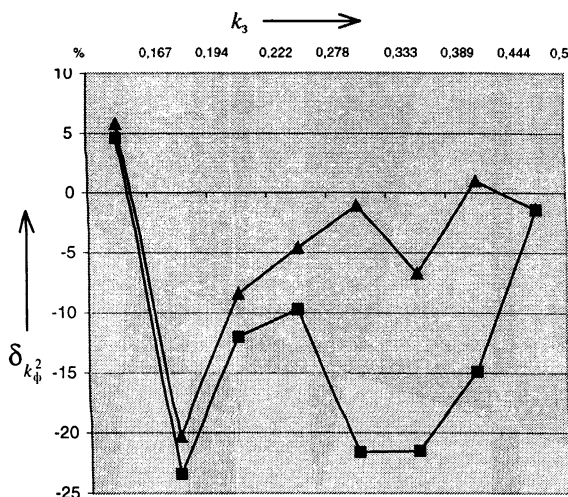


Рис. 3. Зависимости погрешностей определения k_{Φ}^2 по (4), (7)–(10) от k_3 :

—■— — формула (7); —▲— — (8)–(10)

Расчет погрешности в определении k_{Φ}^2 производится по выражению

$$\delta_{k_{\Phi}^2} = \frac{k_{\Phi(4)-(8)}^2 - k_{\Phi(1)}^2}{k_{\Phi(4)-(8)}^2} \cdot 100.$$

Формула (4) имеет наибольшие погрешности, когда нагрузка части времени неизменна и максимальна, а другая часть времени суток равна нулю. В частности, при $T_{\min} = 12$, $k_3 = 0,5$ и $P_{\min} = 0$ погрешность (4) составляет 50 %, при $T_{\min} = 8$, $k_3 = 0,333$ и $P_{\min} = 0$ (график 16, рис. 1) погрешность (4) равна 66,7 %, при $T_{\min} = 4$, $k_3 = 0,167$ и $P_{\min} = 0$ (график 20, рис. 1) погрешность (4) – 83,3 %.

Результаты расчетов по (7)–(10) и сравнительный анализ их точности с (4) приведены в табл. 1.

Результаты расчетов (табл. 1) показывают, что (7)–(10) являются более точными как для реальных типовых графиков нагрузки, так и графиков с ограничениями и перерывами в электроснабжении. Максимальная погрешность предлагаемых формул составляет менее 20 %, это соответствует графику нагрузки 19 (рис. 1) с перерывом в электроснабжении 20 часов за сутки, что на практике маловероятно и связано с неточностью задания $T_{\min}$.

Для расчета коэффициента формы используются величины $N_{\max}$, $N_{\min}$, $T_{\min}$, достоверность определения которых в общем случае невысока. Это

обычно не приводит к заметному снижению точности результатов. Зависимость коэффициента формы от $N_{\max}$, $N_{\min}$ такова, что погрешности в их определении не оказывают существенного влияния на точность нахождения потерь. При ошибках в расчете $N_{\max}$, $N_{\min}$, достигающих 25 %, погрешность в определении потерь не превышает 10 % [1]. В практических расчетах указанные величины находятся с меньшими ошибками [1].

Таблица 1

k_3	$k_{\min}$	$k_{\min}$	k_{Φ}^2 по (1)	Результаты определения k_{Φ}^2 по выражениям		Погрешность определения k_{Φ}^2 по выражениям, %	
				(2)	(7)–(10)	(2)	(7)–(10)
0,833	0,67	0,33	1,03	1,01	1,05	–1,3	2,5
0,722	0,5	0,33	1,08	1,04	1,10	–3,9	1,2
0,722	0,17	0,17	1,17	1,12	1,17	–4,8	0,0
0,667	0,33	0,17	1,15	1,08	1,15	–5,8	0,0
0,667	0,17	0,17	1,21	1,14	1,20	–5,9	–0,4
0,556	0,33	0,33	1,17	1,13	1,22	–3,7	3,9
0,500	0,17	0,17	1,30	1,25	1,28	–3,7	–1,4
0,444	0,17	0,33	1,41	1,31	1,45	–7,1	3,2
0,444	0,17	0,50	1,59	1,31	1,63	–21,4	2,2
0,444	0,17	0,67	1,78	1,31	1,88	–35,7	5,0
0,444	0	0,17	1,69	1,45	1,70	–16,7	1,0
0,444	0	0,33	1,87	1,45	1,81	–29,6	–3,6
0,444	0	0,50	2,06	1,45	1,99	–42,6	–3,9
0,389	0,17	0,17	1,96	1,38	1,84	–22,8	–6,7
0,333	0	0,33	2,25	1,60	2,22	–25,0	–1,5
0,333	0	0,67	3,00	1,80	2,97	–66,7	–1,1
0,278	0	0,67	3,12	1,80	2,98	–49,3	–4,6
0,222	0	0,67	3,75	2,09	3,46	–48,1	–8,4
0,194	0	0,67	4,53	2,53	3,77	–59,1	–20,3
0,167	0	0,83	6,00	3,27	6,37	–83,3	5,8

Ниже рассматривается определение погрешности в расчете коэффициента формы по (8)–(10) в зависимости от неточности задания $T_{\min}$. Для этой цели были смоделированы графики нагрузки при изменении $T_{\min}$ до 30 % от исходно-заданного и сопоставлены значения k_{Φ}^2 , полученные по (8)–(10), с точными значениями по (1). Результаты сопоставления этих расчетов для графиков мощности 7, 13, 16 и 20 (рис. 1) при задании $T_{\min}$ на 10...30 % меньше исходного и приведены на рис. 4.

При положительной погрешности в $T_{\min}$ ошибки в определении k_{Φ}^2 больше, чем при отрицательной. Величина ошибки растет при уменьшении коэффициента заполнения графика нагрузки и может достигать до 60 % для графиков нагрузки с перерывами в электроснабжении 20 часов за сутки (график 20, рис. 1).

Проведенный анализ показывает, что перерывы в электроснабжении приводят к существенному росту $T_{\min}$. Для реальных графиков мощности потребителей при непрерывном питании величина k_{Φ}^2 колеблется в пре-

делах 1,1...1,3 [2], а при ограничениях и перерывах в электроснабжении этот показатель растет до 3...6.

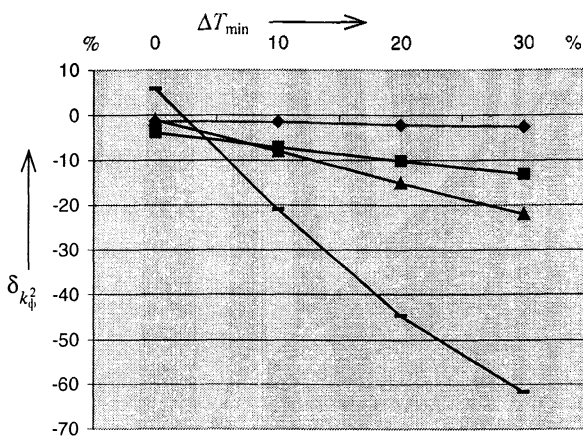


Рис. 4. Зависимости погрешностей определения k_{ϕ}^2 по (5) от погрешности в определении $T_{\min}$: —◆— — для графика № 7 (рис. 1); —■— — № 13 (рис. 1); —▲— — № 18 (рис. 1); —■— — № 20 (рис. 1)

Максимальные погрешности определения k_{ϕ}^2 по (8)–(10) даже при значительных неточностях задания $T_{\min}$ ниже, чем по практически используемым до настоящего времени формулам. Наиболее точной при расчете k_{ϕ}^2 с учетом перерыва в электроснабжении является (6). Максимальная погрешность расчета k_{ϕ}^2 по (6) достигает 20 %.

ВЫВОДЫ

1. Для расчета коэффициента формы графика мощности предложено вводить дополнительный параметр – продолжительность режима с минимальной нагрузкой.

2. Получены зависимости для определения k_{ϕ}^2 , которые позволяют производить расчеты также для режимов электрической сети с ограничениями и перерывами в электроснабжении. Установлено, что предлагаемые зависимости более точно отражают k_{ϕ}^2 как для нормальных графиков нагрузки, так и при ограничениях и перерывах в электроснабжении. Максимальные погрешности предлагаемых зависимостей не превышают 10...20 %.

3. Проанализированы погрешности определения коэффициента формы графиков нагрузки по предлагаемым формулам в зависимости от неточности задания $T_{\min}$. Погрешности в задании $T_{\min}$ на 10...30 % приводят к погрешности в определении k_{ϕ}^2 , не превышающей 30 %.

ЛИТЕРАТУРА

1. Поспелов Г. Е., Сыч Н. М. Потери мощности и энергии в электрических сетях / Под ред. Г. Е. Поспелова. – М.: Энергоиздат, 1981. – 216 с.
2. Потери электроэнергии в электрических сетях энергосистем // В. Э. Воротницкий, Ю. С. Железко, В. Н. Казанцев и др. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 368 с.
3. Кезевич В. В. Зависимость числа часов потерь от использования максимума // Электрические станции. – 1948. – № 9.

4. Справочник по проектированию электроэнергетических систем / Под ред. С. С. Ракоцяна и И. М. Шапиро. – М.: Энергия, 1977.

5. Анисимова Л. П., Левин М. С., Пекелис В. Г. Методика расчета потерь энергии в действующих распределительных сетях // Электричество. – 1975. – № 4.

6. Зельцбург Л. М., Карпова Э. Л. О методике определения годовых нагрузочных потерь электроэнергии // Электричество. – 1985. – № 1.

7. Железко Ю. С., Васильчиков Е. А. О рациональных способах определения числа часов наибольших потерь и коэффициента формы графика // Электрические станции. – 1988. – № 1.

8. Железко Ю. С. Способы расчета числа часов максимальных потерь электроэнергии // Энергетика... (Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ). – 1990. – № 11. – С. 50–52.

9. Рахимов К. Р. Об определении времени максимальных потерь // Энергетика... (Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ). – 1990. – № 11. – С. 52–55.

Поступила 31.07.2001

УДК 621.316

ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ КОНТРОЛЯ, УЧЕТА И УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕМ В УСЛОВИЯХ КОМПЛЕКСНОЙ ИНФОРМАТИЗАЦИИ

**Доктора техн. наук, профессора ВЕЛИЧКО Л. Н.,
КАЧУРА Л. П., ЧЕРНЫШЕВ В. О.,
канд. техн. наук, доц. МЕТЛИЦКИЙ Ю. Н.**

Закрытое акционерное общество «НПП Белсофт»

В условиях становления рыночных отношений, спада производства и появления ряда других негативных факторов значительные перемены происходят в энергетике. Расширение сфер применения и возрастающий дефицит энергоресурсов, а также непрерывный рост цен на них предопределяют необходимость освоения современных энергосберегающих технологий, обеспечивающих контроль, учет и управление электроснабжением Республики Беларусь. Одним из прогрессивных направлений повышения эффективности электроснабжения является его информатизация (компьютеризация).

Под комплексной информатизацией энергоснабжения понимается социально-экономический и научно-технический процесс изучения, обеспечения и удовлетворения информационных потребностей и запросов пользователей, способствующий наиболее полному и оперативному получению и использованию достоверной информации, повышающей эффективность организационно-экономических решений по управлению энергоресурсами. Тактической целью информатизации являются интенсификация и улучшение качества процессов, обеспечивающих надежное электроснабжение, рациональное использование электроресурсов, экономию финансов, значительный рост производительности и оперативности управления.