

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ В ЭНЕРГЕТИКЕ

УДК 621.311.1.017

**РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ РАСЧЕТА ПОТЕРЬ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ
В СЕТЯХ 0,4 КВ В ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ УСЛОВИЯХ.**

Джусупбекова Назира Кубанычбековна, ст. преподаватель, КГТУ им. И. Раззакова, Кыргызстан, 720044, г.Бишкек, пр.Ч.Айтматова 66. Тел:0771340427, e-mail:nazika11612@mail.ru.

Аннотация. Разработка методики расчета потерь электроэнергии в распределительных сетях 0,4 кВ в условиях эксплуатации. Расчет потерь электроэнергии в простейших сетях 0,4 кВ при режимах: симметрично равномерной нагрузкой; симметрично неравномерной нагрузкой; несимметрично неравномерной нагрузкой.

Ключевые слова: алгоритм, потери мощности, потери напряжения, потери электроэнергии, коэффициенты формы, связи, неравномерности, несимметрии.

DEVELOPMENT OF THE METHOD OF CALCULATION OF TECHNOLOGICAL AND COMMERCIAL LOSSES IN NETWORKS OF 0.4 KV IN OPERATING CONDITIONS.

Dzhusupbekova Nazira Kubanychbekovna, art. Teacher, KSTU. I. Razzakova, Kyrgyzstan, 720044, Bishkek city, Aitmatova Avenue 66. Tel: 0771340427, e-mail: nazika11612@mail.ru.

Abstract. Development of a methodology for calculating technological and commercial losses in 0.4 kV distribution networks under operating conditions. Calculation of electric power losses in the simplest networks 0,4 kV under the conditions: symmetrically uniform load, symmetrically uneven load, asymmetrically uneven load.

Keywords: algorithm, power loss, voltage loss, power loss, shape factors, coupling, unevenness, asymmetry.

В условиях эксплуатации наиболее точно это можно сделать путем прямого счета режима, так как известны схемы замещения этих линий и нагрузки в точках отбора мощности (показания счетчика). Однако это очень трудоемкая процедура. Ранее разработанная методика в КГТУ в виде программы позволяет определить потери ЭЭ в сетях 0,4 кВ путем поэлементного расчета при известных активных и реактивных нагрузках потребителя или по показаниям счетчика потребителя. Тем не менее и этот метод требует большого числа исходных данных и не все работники энергосбыта умеют пользоваться с этой предлагаемой методикой расчета потерь ЭЭ в сетях 0,4 кВ.

В этой статье предлагается усовершенствованная методика, алгоритм расчета потерь электроэнергии в сетях 0,4 кВ в условиях эксплуатации и предназначена для работников энергосбыта, а также для уточнения нормативов потерь электроэнергии в РЭКах.

Исходные данные для расчета потерь в фидерах 0,4 кВ.

Характеристика потребителей (3-х фазный, 1- фазный, вид потребления).

Топология электрической сети 0,4 кВ.

W_i – показания счетчиков i -го потребителя.

F_ϕ - сечение фазных проводов ($мм^2$), которому соответствуют сопротивление

R_{ϕ} (Ом / км);

F_H - сечение нулевого провода (мм²), которому соответствует сопротивление R_H (Ом / км);

Фидер может состоять из ($i=1...N_{\phi}$) нескольких последовательно-параллельных участков с разной длиной и маркой провода.

N_{ϕ} – число участков фидера 0,4 кВ.

ΔP - потери мощности в фидере (кВт).

ΔU_i % - относительные потери напряжения на участках сети от шин ТП до потребителя,

$$\Delta U_{ij} \% = \left(\frac{\Delta U_{ij}}{U_H} \right) \cdot 100\%$$

$$\Delta P \% - \text{относительные потери мощности на участка } \Delta P_{ij} \% = \left(\frac{\Delta P_{ij}}{P_H} \right) \cdot 100\%$$

I_A, I_B, I_C – замеренные в максимум нагрузки токи по фазам в голове (А);

T - число часов использованной нагрузки;

P_H, Q_H – активная и реактивная мощность нагрузки на голове фидера;

$\text{tg} \varphi = \frac{Q_H}{P_H}$ – тангенс угла нагрузки;

$K_{X.R} = \frac{X}{R}$ - отношение индуктивного (X) и активного (R) сопротивлений.

Подготовка исходных данных осуществляется персоналом (инспекторами по сбыту ЭЭ) электрических сетей распределительных компаний

Вывод основных соотношений.

Для общности обзора методики приведем выкладки сделанные в [1,2], которые дают связь между потерями мощности ($\Delta P\%$) и потерями напряжения ($\Delta U\%$).

Если известны топология фидеров 0,4кВ с данными о сопротивлениях участков $R(i)$ и $X(i)$ и токовых нагрузках $I(i)$ в узлах отбора мощности, то можно определить активное (R_y) и реактивное (X_y) сопротивление участка фидера:

$$R_y = \rho \frac{l}{F}, \text{ или } R_y = r_0 \cdot l, \quad X_y = x_0 \cdot l. \quad (1)$$

Рассмотрим расчет потерь электроэнергии в простейших сетях 0,4 кВ при режимах: симметрично равномерной нагрузкой; симметрично неравномерной нагрузкой; несимметрично неравномерной нагрузкой;

1. Простейшая сеть с одной симметрично-равномерной нагрузки

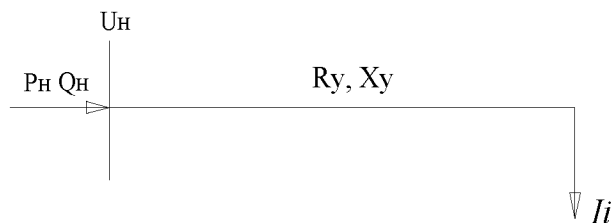


Рисунок 1. Простейшая сеть с одной нагрузкой

Ток I_i определяется показанием счетчика по формуле

$$I_i = \frac{W_{\text{исч}}}{U_i \cdot \cos \phi_i \cdot T_i},$$

где $W_{\text{исч}}$ – показания счетчика.

Зная (R_y) и (X_y) можно записать выражения для потерь мощности (ΔP) и потерь напряжения (ΔU) в фидере:

$$\Delta P = \frac{(P_H^2 + Q_H^2) \cdot (R_y)}{U_H^2}, \quad \Delta U = \frac{P_H \cdot R_y + Q_H \cdot X_y}{U_H}. \quad (2)$$

После преобразования (2) получим выражения:

$$\Delta P = \frac{R_y \cdot P_H^2 \cdot (1 + \text{tg} \phi^2)}{U^2}; \quad \Delta U = \frac{R_y \cdot P_H \cdot (1 + K_{X,R} \cdot \text{tg} \phi)}{U}, \quad (3)$$

где $K_{X,R} = \frac{X_y}{R_y}; \quad \text{tg} \phi = \frac{Q_H}{P_H}.$

Если определить относительные величины потерь мощности $\left(\Delta P\% = \frac{\Delta P}{P_H} \right)$ и потерь напряжения $\left(\Delta U\% = \frac{\Delta U}{U_H} \right)$, то получим:

$$\Delta P\% = \frac{R_y \cdot P_H^2 \cdot (1 + \text{tg} \phi^2) \cdot 100}{U^2}; \quad \Delta U\% = \frac{R_{\text{экр}} \cdot P_H \cdot (1 + K_{X,R} \cdot \text{tg} \phi) \cdot 100}{U^2}. \quad (4)$$

Отсюда находится связь между ($\Delta P\%$) и ($\Delta U\%$) через (Kc). Тогда получим:

- для воздушных линий $Kc = \frac{(1 + \text{tg} \phi^2)}{1 + K_{X,R} \cdot \text{tg} \phi}$

- для кабельных линий $Kc \approx 1 + \text{tg} \phi^2$

т.к. для них $X_{\text{вэд}} \approx 0$, то $K_{X,R} = \frac{X_{\text{экр}}}{R_{\text{экр}}} = 0.$

Таким образом для простейшей сети с одной нагрузкой потери мощности:

$$\Delta P\% = Kc \cdot \Delta U\% \quad (5)$$

Для ориентира, вычисленные значения в [2] коэффициента связи (Kc) представлены в таблице 1.

Таблица 1.

Значения коэффициента связи (Kc)

$\cos \phi$	$\text{tg} \phi$	Kc для воздушных линий при сечении проводов ($i \cdot i^2$)							Kc для кабельных линий
		50	70	95	120	150	185	240	
0,98	0,2	0,93	0,89	0,84	0,8	0,76	0,71	0,65	1,04
0,94	0,3	0,92	0,87	0,8	0,75	0,7	0,64	0,58	1,09
0,92	0,4	0,93	0,86	0,78	0,73	,66	0,6	0,53	1,16
0,88	0,5	0,95	0,87	0,78	0,73	0,64	0,64	0,5	1,25

Из таблицы 1 видно, что для воздушных линий среднее значение $Kc \approx 0,7$. Поэтому

часто в формуле (5) в различных публикациях [2,5] используется $K_c = 0,7$, т.е. $\Delta P\% = 0,7 \cdot \Delta U\%$.

Потери электроэнергии в простейшей сети симметрично с равномерной нагрузкой без ответвления 0,4 кВ с сопротивлением R_y за время (Т) будет

$$\Delta W_i = \Delta U\% \cdot K_c \cdot P_n \cdot T. \tag{6}$$

2. Расчет потерь электроэнергии в симметрично неравномерном режиме. В условиях эксплуатации широко используется метод средних нагрузок [2].

$$\Delta W = \Delta P_{cp} \cdot T,$$

где $\Delta P_{cp} = \frac{S_{cp}^2}{U^2} \cdot R_y$, $S_{cp} = \frac{P_{cp}}{\cos \varphi}$, $P_{cp} = \frac{W_{псч,н}}{T}$, $W_{псч,н}$ - показание счетчика в

главном участке фидера 0,4 кВ, если счетчика нету то P_{cp} определяется по формуле приведенной в работе [4,3].

Из условия $\sum \Delta P_i \cdot t_i = K_\phi \Delta P_{cp} T$ определим коэффициентом формы (K_ϕ)

$$K_\phi = \frac{\sqrt{\frac{1}{T} \sum \Delta P_i \cdot t_i}}{P_{cp}}. \tag{7}$$

В таблице 2 приведена значение K_ϕ в зависимости P_{cp} от ступеней графики нагрузки

Таблица 2.

Число ступеней	1	2	3	24	Для жилых домов с эл.плитами	Для жилых домов с газ.плитами
Кф	1	1,071	1,087	1,149	1,1	1,13

Более уточненные данные для фидеров 0,4-10 кВ определяется экспериментальным способом во время проведения летних и зимних замеров в РЭКах.

Потери электроэнергии в простейшей сети с симметрично неравномерной нагрузкой без ответвления 0,4 кВ с сопротивлением R_y за время (Т) будет

$$\Delta W_i = P_n \cdot T \cdot K_c \cdot \Delta U\% \cdot K_\phi^2. \tag{8}$$

3. Расчет потерь электроэнергии в несимметрично неравномерном режиме

Для исследования влияния на потери электроэнергии в сетях 0,4 кВ несимметрии нагрузки нами проведен эксперимент на отходящих фидерах трех подстанций 10/0,4 кВ, расположенных в сельской местности, питающих коммунально-бытовые потребители (Аламединский РЭС, Воронцовский участок). Замеры выполнялись при существующем положении в сети в течении недели. При измерениях использовались лабораторные токоизмерители и вольтметры, а также счетчики. В качестве контролируемых показателей были приняты:

- пофазное почасовое измерение токов, напряжения в начале и в конце линий;
- пофазное и суммарное потребление активной энергии потребителями, подключенными к исследуемой отходящей от ТП воздушной линии, а также суммарный отпуск активной энергии с шин подстанции 10/0,4кВ;
- коэффициент увеличения потерь мощности вследствие неравномерности нагрузки фаз.

На рис. 2 представлена зависимость токов и падений напряжения по фазам во времени в течении суток, а на рис. 3 изменение коэффициента несимметрии во времени, рассчитанный по выражению

$$K_H = \frac{I_0}{I_{cp}}, \tag{9}$$

где $I_{cp} = \frac{1}{3}(I_a + I_b + I_c)$

$$I_0 = (I_a - 0,5(I_b + I_c)) + \frac{\sqrt{3}}{2}(I_b - I_c)$$

Потери мощности в симметричном и несимметричном режимах определены по выражениям:

$$\begin{aligned} \Delta P_{i\Delta c} &= (I_a^2 + I_b^2 + I_c^2)R_0 + (3I_0)^2 \cdot R_i, \\ \Delta P_c &= \frac{1}{3}I_{cp}^2 \cdot R. \end{aligned} \tag{10}$$

Из выражений (9) и (10) получим:

$$\frac{\Delta P_{нес}}{\Delta P_c} = 1 + K_H^2 \left(2 + 3 \frac{R_i}{R_0}\right) \tag{11}$$

Как видно из выражения (11), дополнительные потери мощности, вызванные несимметрией нагрузок, пропорциональны квадрату коэффициента симметрии фазных нагрузок, который теоретически может изменяться от 0 до 1. Заметим, что K_H изменяется (рис. 2) с изменением нагрузки. Поэтому необходимо связать его с токовым суточным графиком и определить типовой коэффициент неравномерности.

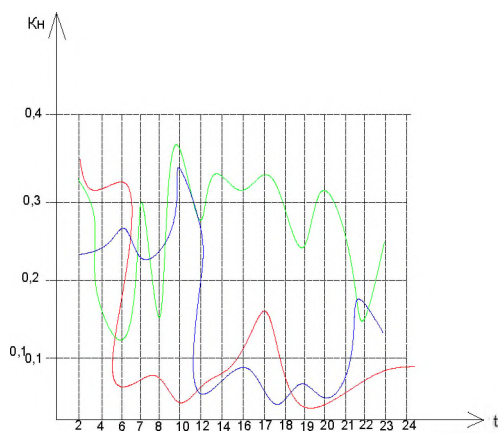


Рис.2. Зависимость токов и падений напряжения по фазам во времени в течении суток

Экспериментальное определение относительных технических потерь по фидерам и в целом по ТП за исследуемый период как разница показаний головного счетчика и суммарные показания всех абонентов по ТП. Она составила от 18,6% до 40,3%.

Сравнение расчетных относительных потерь электроэнергии с экспериментальными данными показали, что без учета коэффициента несимметрии погрешность составляет до 51%, а с учетом до 6% , что приемлемо, если учитывать погрешности счетчиков.

Кроме анализа дополнительных потерь из-за несимметрии, также рассмотрено влияние сопротивления нулевого провода на снижение расхода энергии. Поскольку при

симметричной нагрузке фаз $I_A = I_B = I_C$, то $K_n = 0$. При несимметричной же нагрузке фаз $I_A \neq I_B \neq I_C$, то $0 < K_n < 1$.

В случае включения всей нагрузки на одну фазу (предельный случай несимметрии) $K_n = 1$.

Исследуем, как влияет сечение нулевого провода ВЛ 0,4 кВ на величину потерь энергии в ней. Для этого воспользуемся выражением (3). Поскольку потери энергии в ВЛ 0,4 кВ пропорциональны отношению $\frac{R_H}{R_0}$ и, увеличение или уменьшение его значения равносильно увеличению или уменьшению потерь энергии в линии.

На рис. 3 приведено семейство характеристик $\frac{\Delta P_{\text{нec}}}{P_c}$ от $\frac{R_H}{R_0}$. На этом рисунке видно, что одним из целесообразных мероприятий по экономии электроэнергии в сельских сетях 0,4 кВ необходимо увеличить проводимости нулевых проводов до величины, равной или даже большей, чем у фазных проводов, что не противоречит требованиям ПУЭ.

Возможный диапазон изменения K_{HEP} при различных отношений сопротивлений нулевого и фазных проводов в зависимости от K_n представлен в таблице 3 и на рис. 3:

Таблица 3

Диапазон изменения коэффициента неравномерности

Кн	K_{HEP} при			
	$\frac{R_H}{R_\phi} = 0,5$	$\frac{R_H}{R_0} = 1$	$\frac{R_H}{R_\phi} = 1,5$	$\frac{R_H}{R_0} = 2$
0,1	1,035	1,05	1,065	1,08
0,2	1,14	1,2	1,26	1,32
0,3	1,315	1,45	1,585	1,72
0,4	1,56	1,8	2,04	2,28
0,5	1,875	2,25	2,625	3
0,6	2,26	2,8	3,34	3,88
0,7	2,715	3,45	4,185	4,92
0,8	3,24	4,2	5,16	6,12
0,9	3,835	5,05	6,265	7,48
1	4,5	6	7,5	9

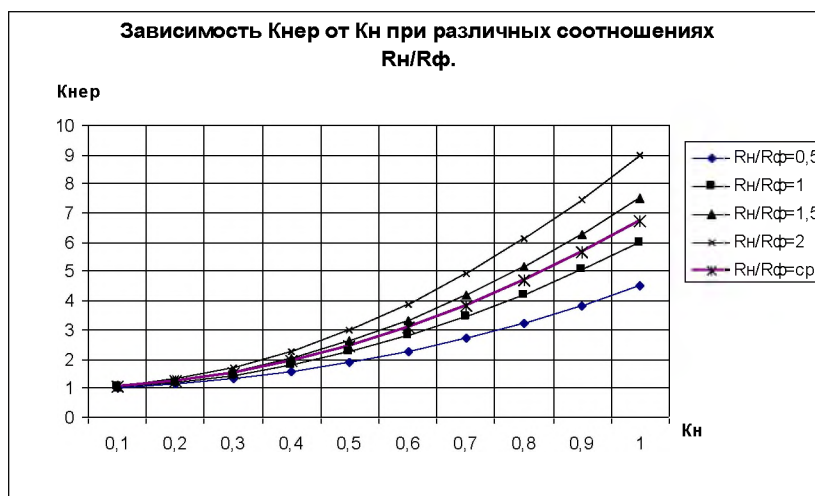


Рисунок 3. Зависимость коэффициента несимметрии K_n от коэффициента неравномерности нагрузок $K_{\text{нер}}$.

Из графика видно, что чем больше коэффициент несимметрии тем большее влияние оказывает на потери ЭЭ.

Таким образом, потери (ΔW) простейших сетях с одной нагрузкой 0,4 кВ можно определить следующим образом:

$$\Delta W_i = P_{\text{ср}} \cdot T \cdot K_c \cdot \Delta U\% \cdot K_{\text{НЕР}} \cdot K_{\phi}^2 \quad (12)$$

На основании проведенного экспериментального исследования технических потерь в сетях 0,4 кВ, расчет и анализ результатов позволяет сделать следующие **выводы**:

1. В сетях 0,4 кВ с коммунально-бытовыми потребителями коэффициент неравномерности фаз изменяется от 0 до 0,47, что увеличивает потери электроэнергии от 1 до 2,1 раза, а в предельном случае когда $K_{\text{нес}} = 1$ до 6 раз.

2. Необходимо определить экспериментально по сезонам года коэффициент несимметрии и типовой суточный график для характерных потребителей.

3. Одним из мероприятий по снижению потерь электроэнергии в сельских сетях 0,4 кВ признать увеличение сечения нулевого провода до величины равной или даже большей, чем сечение фазного провода.

Список литературы.

1. Железко Ю.С. Принципы и расчетные формулы нормативного планирования потерь электроэнергии в в электрических сетях. – Электрические станции, 1990, №1.

2. Железко Ю.С. Расчет, анализ и нормирование потерь электроэнергии в электрических сетях.: Руководство для практических расчетов / Ю.С Железко, А.В. Савченко – М.:ИЦЭНАС, 2005-280с.:ил.

3. Методические указания по расчету нормативных потерь в распределительных сетях 0,4-35 кВ., г. Бишкек, КТУ им.И. Раззакова, кафедра «Электроснабжение», 2004.

4. Отчет о НИР «Оценка потерь электроэнергии, разработка нормативной характеристики и рекомендации по снижению потерь электроэнергии в распределительных сетях 0,4-35 кВ». ОФ «Энергосбережение», Б., 2005.

5. Порядок расчета и обоснования нормативов технологических потерь электроэнергии при ее передаче по электрическим сетям. Госагентство по энергетике КР, Б.:2004.