



ВОЗМОЖНЫЕ ПОГРЕШНОСТИ РАСЧЕТОВ ПОТЕРЬ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В ЦЕХОВЫХ ПРОМЫШЛЕННЫХ СЕТЯХ

Е.И. Грачева, А.Н. Алимова

Казанский государственный энергетический университет, Казань, Россия

Резюме: Представленная статья посвящена анализу и исследованию причин возникновения и величин возможных погрешностей от неучета основных определяющих характеристик при расчете потерь электроэнергии в цеховых сетях низкого напряжения. Доказано, что при определении потерь электроэнергии в линиях цеховых сетей необходимо учитывать влияние следующих параметров оборудования: нагрева проводников, обусловленного прохождением тока нагрузки через проводники и температурой окружающей среды; сопротивления контактных соединений коммутационных аппаратов и их числа; вида графика нагрузки; температуры окружающей среды. Исследуется схема цеховой сети и суточные графики нагрузки потребителей одного из предприятий нефтепромышленного комплекса. Вычислены погрешности расчетов потерь электроэнергии и проведен анализ влияния параметров оборудования на величину потерь электроэнергии. Показано, что отсутствие достоверной информации о параметрах элементов цеховых сетей низкого напряжения и неучет факторов, определяющих эти параметры, приводит к погрешности от 5 до 80 % при вычислении потерь электроэнергии в системах промышленного электроснабжения.

Ключевые слова: электрооборудование цехов, компоновка, графики нагрузки, потери электроэнергии, температура провода, температура окружающей среды, сопротивление контактных соединений коммутационных аппаратов и их числа, суточные графики нагрузки.

DOI:10.30724/1998-9903-2018-20-11-12-81-92.

Для цитирования: Грачева Е.И., Алимова А.Н. Возможные погрешности расчетов потерь электроэнергии в цеховых промышленных сетях // Известия высших учебных заведений. ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ. 2018. Т. 20. № 11-12. С. 81-92. DOI:10.30724/1998-9903-2018-20-11-12-81-92.

POSSIBLE ERRORS OF CALCULATIONS OF LOSSES OF THE ELECTRIC POWER ON SHOP INDUSTRIAL NETWORKS

E.I. Gracheva, A.N. Alimova

Kazan state power-engineering university, Kazan, Russia

Abstract: In the article it is devoted the analysis and researches of origins and values of possible errors from not accounting of the main defining characteristics when calculating losses of the electric power on shop networks of a low tension. It is proved that in case of determination of losses of the electric power in lines of shop networks it is necessary to consider influence of the

following parameters of the equipment: the heating of conductors caused by passing of current of loading through conductors and ambient temperature; resistance of contact joints of switching devices and their number; type of the load graph; ambient temperatures. The diagram of a shop network and daily load graphs of customers of one of the enterprises is researched. Errors of calculations of losses of the electric power are calculated and the analysis of influence of parameters of the equipment on value of losses of the electric power is carried out. The absence of reliable information about elements of shop networks of a low tension and not accounting of the determining leads to an error 5 - 80% in case of computation of losses of the electric power in the systems of industrial electrical power supply.

Keywords: electric equipment of shops, configuration, load graphs, losses of the electric power, wire temperature, ambient temperature, resistance of contact joints of switching devices and their numbers, daily load graphs.

For citation: E.I. Gracheva, A.N. Alimova. Possible errors of calculations of losses of the electric power on shop industrial networks. Proceedings of the higher educational institutions. ENERGY SECTOR PROBLEMS 2018. vol. 20. № 11-12. pp. 81-92. DOI:10.30724/1998-9903-2018-20-11-12-81-92.

Введение

Характерная для настоящего времени модернизация оборудования систем промышленного электроснабжения предполагает усложнение структуры, схем и функций внутрицеховых электрических сетей.

Как известно, электрические сети напряжением 0,4 кВ являются последним звеном в цепи передачи и распределения электроэнергии (ЭЭ) от электростанции к потребителям. Как правило, в целом они составляют около 40% от суммарной протяженности всех электрических сетей [1–3]. От надежности работы сетей 0,4 кВ и их загрузки решающим образом зависят надежность, качество и экономичность электроснабжения потребителей [4–7], а от точности расчетов технических потерь в сетях 0,4 кВ – точность выявления коммерческих потерь в электрических сетях в целом [8–11]. Расчет потерь ЭЭ в этих сетях является одним из наиболее трудоемких. Это связано со следующим особенностями распределительных сетей 0,4 кВ:

- большим объемом информации с одновременно низкой ее достоверностью;
- большой протяженностью и разветвленностью схем;
- динамикой изменения схемных и особенно режимных параметров;
- различным исполнением участков: пятипроводные (три фазы, ноль и фонарный провод), четырехпроводные (три фазы и ноль), трехпроводные (две фазы и ноль), двухпроводные (одна фаза и ноль);
- неравномерностью загрузки фаз;
- неодинаковостью фазных напряжений на шинах питающей трансформаторной подстанции [12; 13].

Степень применения того или другого метода расчета потерь ЭЭ определяется, прежде всего, возможностью получения достоверной информации для его реализации и погрешностью метода [13].

Развитие методов расчета потерь ЭЭ условно можно разделить на два этапа. На первом этапе, который начался в конце 40-х годов прошлого века, в течение двадцати лет в основном совершенствовался метод расчета потерь ЭЭ по числу часов максимальных потерь t . Наиболее полный анализ применения различных модификаций расчетной формулы t наглядно показал, что этот метод нежелательно использовать для расчета потерь

ЭЭ в замкнутых электрических сетях, и дальнейшие исследования в этом направлении не являются актуальными.

Для более точного расчета потерь ЭЭ в начале 60-х годов прошлого века начали развивать детерминированные и вероятностно-статистические методы расчета.

Постановка задачи исследования

Точные данные о факторах, определяющих значения потерь ЭЭ в низковольтных сетях, получить трудно, а зачастую невозможно. Так, например, данные, приводимые в справочной литературе, о величине сопротивлений, контактных соединений коммутационных аппаратов весьма ограничены и приближены. А графики нагрузок приемников низковольтных сетей на предприятиях, как правило, отсутствуют.

Неполнота информации заставляет использовать методы расчета, основанные на тех или иных допущениях, определяющих предполагаемое влияние на результаты расчета отсутствующей информации. Погрешности, вызванные неполнотой информации, обычно называют «методическими», так как каждый метод ориентирован на свой объем информации [14–17].

Дополнительные погрешности вносятся в расчет из-за ограниченной точности информации, используемой тем или иным методом. Применительно к этим составляющим погрешности используется термин «информационные погрешности».

Качественное различие между указанными составляющими состоит в том, что первая органически присуща методу, она не зависит от точности используемой информации, и для конкретного расчета ее численное значение определяется только значимостью допущений, принятых при разработке метода. Для конкретного расчета эта погрешность не может быть уменьшена никакими способами, кроме перехода на другой метод. Например, если метод не учитывает возможность различия конфигураций графиков нагрузки узлов, то погрешность расчета будет тем меньше, чем меньше эти различия в конкретном случае. Однако при заданных конфигурациях графиков она будет иметь определенное значение, которое в рамках данного метода уменьшить нельзя. Вторая составляющая изменяется в зависимости от точности используемой информации и теоретически может быть сведена к нулю при использовании идеально точной информации.

Наличие указанных погрешностей приводит к тому, что фактически потери энергии будут в большей или меньшей степени отличаться от их расчетного значения.

Естественно, что чем менее полная информация имеется в наличии, тем более простой метод расчета приходится применять и тем большая методическая погрешность вносится в расчет. Чем менее точна имеющаяся информация, тем большая информационная погрешность вносится дополнительно.

Оценка возможных погрешностей расчета потерь

Потери ЭЭ в сети с m -ветвями кабельных линий (КЛ) при неизменных в период T составе и топологии схемы электроснабжения промышленного предприятия можно представить так:

$$\Delta W = 3 \cdot \sum_{j=1}^m I_j^2(t) \cdot R_j(t) dt, \quad (1)$$

где $I_j^2(t)$ – среднеквадратичный ток линии в момент времени t , определяется по экспериментальному или расчетному графику нагрузки линии, либо по одной из многочисленных методик расчета электрических нагрузок [14]; $R_j(t)$ – эквивалентное сопротивление линии, значение которого в каждый момент времени t зависит от фактической температуры провода $\Theta_{\text{пр}}$, а также от количества установленных на линии коммутационных аппаратов:

$$R = r_{20} \cdot L[1 + \alpha(\Theta_{\text{пр}} - 20^\circ)] + \sum_{i=1}^k r_i, \quad (2)$$

где r_{20} – удельное сопротивление 1 м линии при 20°C , мОм/м; L – длина линии, м, должна определяться по плану прокладки линии с учетом того, что провода и кабели прокладываются «змейкой», а не внастяжку, чтобы скомпенсировать монтажные и температурные удлинения линии; α – температурный коэффициент увеличения сопротивления материала провода линии, равный для меди и алюминия $0,00385 \text{ } 1/^\circ\text{C}$; $\Theta_{\text{пр}}$ – температура жилы провода, зависящая от нагрузки линии и от температуры окружающей

среды, $^\circ\text{C}$; $\sum_{i=1}^k r_i$ – сумма сопротивлений контактных соединений, в том числе и коммутационных аппаратов, включенных в линию, мОм.

Температура жилы проводника определяется по выражению

$$\Theta_{\text{пр}} = k_3^2 \cdot (T_{\text{доп}} - \Theta_{\text{окр}}) + \Theta_{\text{окр}}, \quad (3)$$

где k_3^2 – среднеквадратичный коэффициент загрузки линии; $T_{\text{доп}}$ – допустимая температура жилы кабеля, определяется по справочным данным; $\Theta_{\text{окр}}$ – температура окружающей среды.

Рассмотрим на примере возможную погрешность определения потерь ЭЭ в линии цеховой сети от неучета следующих факторов:

- 1) неучет графиков нагрузки;
- 2) неучет нагрева проводника током нагрузки;
- 3) неучет температуры окружающей среды;
- 4) неучет сопротивлений коммутационных аппаратов, установленных на линии.

Исследуемая схема цеховой сети $0,4 \text{ кВ}$ одного из предприятий нефтепромышленного комплекса показана на рис.1. Параметры линий приведены в табл. 1.

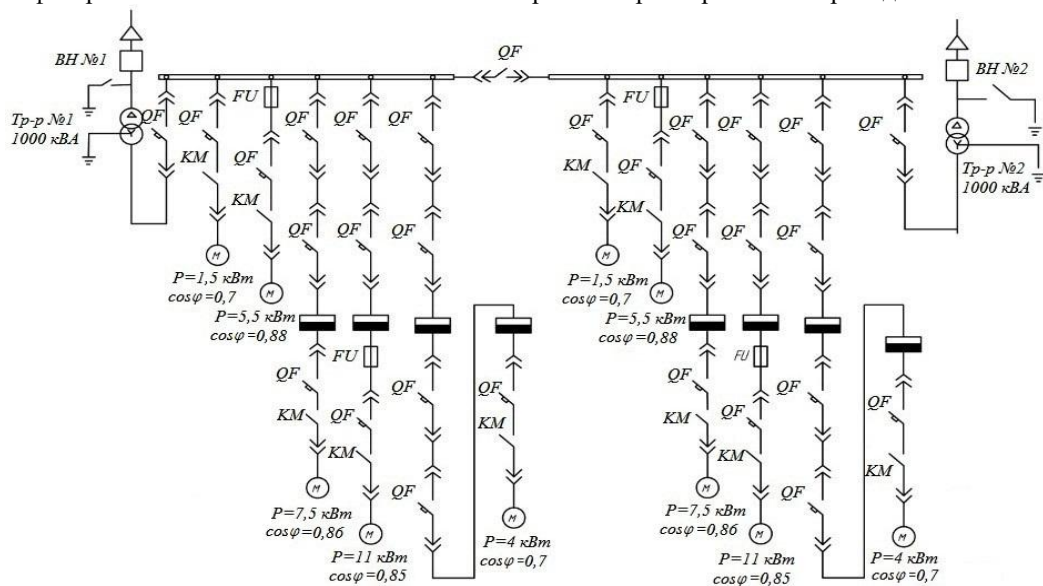


Рис.1. Исследуемая схема цеховой сети $0,4 \text{ кВ}$. Линии: 1, 12 – питающие линии; 2, 7 – линии с 2 коммутационными аппаратами; 3, 8 – линии с 3-мя аппаратами; 4, 9 – линии с 4-мя аппаратами; 5, 10 – линии с 5-ю аппаратами; 6, 11 – линии с 6-ю аппаратами

Таблица 1

Параметры линий цеховой сети

№ линии	Марка и сечение кабельной линии	Длина линии, м	Количество ком. аппаратов на линии	Тип авт. выключателя	Тип магнитного пускателя	Тип предохранителя
2,7	ВВГнг4х2,5	5	2	АЕ2046-10А	ПМЕ-111	
3,8	ВВГнг4х2,5	10	3	АЕ2046-20А	ПМЕ-211	ПР-2-10
4,9	ВВГнг4х4	25	4	3хАЕ2046-25А	ПМЕ-211	
5,10	ВВГнг4х4	40	5	2хМЕ-86-63А	ПАЕ-411	ПР-2-60
6,11	ВВГнг4х4	60	6	5хАЕ2046-25А	ПМЕ-211	

Определим потери ЭЭ в линии по среднеквадратичному значению тока нагрузки. Эквивалентное сопротивление линии найдём с учётом сопротивлений контактных соединений коммутационных аппаратов и с учётом нагревания проводников линии. Сопротивления контактных соединений коммутационных аппаратов приведены в табл. 2.

Таблица 2

Сопротивление контактных соединений коммутационных аппаратов

№ линии	Тип авт. выключателя	R, мОм	Тип магнитного пускателя	R, мОм	Тип предохранителя	R, мОм
2,7	АЕ2046-10А	22,10	ПМЕ-111	110,20		
3,8	АЕ2046-20А	12,30	ПМЕ-211	44,10	ПР-2-10	16,5
4,9	АЕ2046-25А	12,30	ПМЕ-211	44,10		
5,10	МЕ-86-63А	4,30	ПАЕ-411	17,5	ПР-2-60	4,7
6,11	АЕ2046-25А	12,30	ПМЕ-211	44,10		

Допустимая температура жилы провода ВВГнг с поливинилхлоридной изоляцией равна 70°C. Удельное сопротивление линий сечением 2,5 мм² составляет 0,0074 Ом/м, а для сечения 4 мм² – 0,00463 Ом/м при $\Theta_0 = 20^\circ\text{C}$. На рис. 2 показаны суточные графики нагрузки линий цеховой сети, на рис. 3 – суммарный суточный график нагрузки цеховой сети.

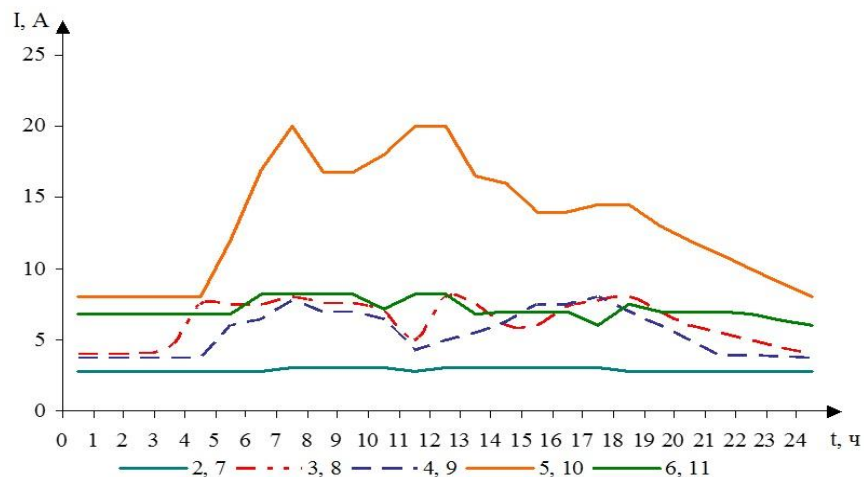


Рис.2. Суточные графики нагрузки линий 2-11 цеховой сети

Рассмотрим влияние температуры окружающей среды на величину потерь ЭЭ в системах промышленного электроснабжения. Расчёт проведём для линии 2 и температуры окружающей среды 5°C.

Для начала определим температуру провода с учётом нагрева током нагрузки и температуры окружающей среды при $k_3^2 = 0,0093$:

$$\Theta_{\text{пр}} = 0,0093 \cdot (70 - 5) + 5 = 5,6033 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Определим эквивалентное сопротивление линии с учётом сопротивления контактных соединений коммутационных аппаратов:

$$R = 0,037 \cdot [1 + 0,004 \cdot (5,6033 - 20)] + 0,132 = 0,1672 \text{ Ом},$$

Определим потери за период времени $T=24$ ч, если среднеквадратичный ток $I_{\text{ср}}=2,8939$ А:

$$\Delta W = 3 \cdot 2,8939^2 \cdot 0,1672 \cdot 24 = 100,796 \text{ кВт}\cdot\text{ч}.$$

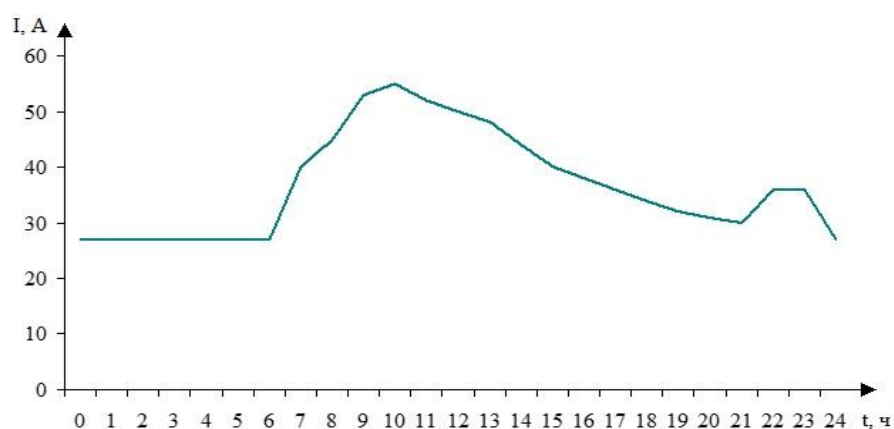


Рис. 3. Суммарный суточный график нагрузки

Результаты расчета потерь ЭЭ при температуре окружающей среды от 5 до 35°C представлены в табл. 3. Суточный график зависимости величины потерь активной мощности при различных значениях температуры окружающей среды показан на рис. 4.

Таблица 3

Результаты расчет потерь ЭЭ при различных значениях температуры окружающей среды

Температура окр. среды, °C	Температура провода, °C	Rэ, Ом	Сопротивление ком. аппаратов, Ом	I _{ср.кв} , А	Потери ЭЭ, кВтч
5	5,603279614	0,16716929	0,1323	2,8939	100,796
10	10,55687349	0,16790242	0,1323	2,8939	101,238
15	15,51046737	0,16863555	0,1323	2,8939	101,6801
20	20,46406124	0,16936868	0,1323	2,8939	102,1221
25	25,41765512	0,17010181	0,1323	2,8939	102,5642
30	30,37124899	0,17083494	0,1323	2,8939	103,0062
35	35,32484287	0,17156808	0,1323	2,8939	103,4483

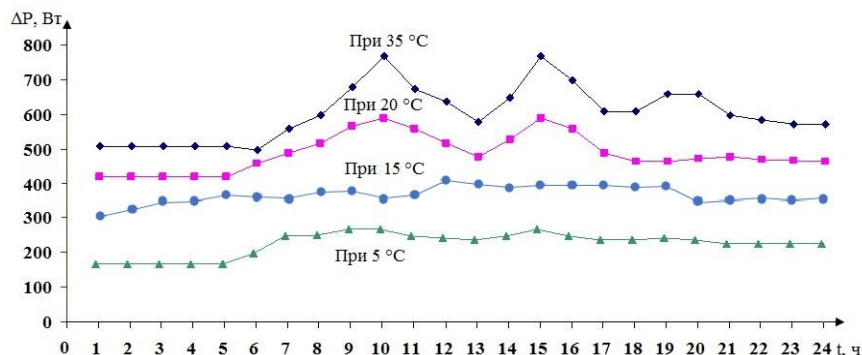


Рис.4. Суточный график изменения потерь мощности линии цеховой сети в зависимости от различных значений температуры окружающей среды

Таким образом, установлено, что с увеличением температуры окружающей среды потери ЭЭ растут. Погрешность расчета потерь ЭЭ, обусловленная неучетом температуры окружающей среды, составляет 10 %. Следовательно, в расчетах требуется отражать фактор влияния температуры окружающей среды.

Для выявления влияния процесса нагревания проводов рассмотрим новый пример, изменив параметры нагрузки. Пусть мощность электроприемника составляет 60 кВт. Сечение кабельной линии 50 мм^2 с $I_0 = 130 \text{ А}$, $r_{20} = 0,589 \text{ Ом/км}$. Постоянная времени нагрева для проводников данного сечения составляет 20 мин. График нагрузки линии и график изменения потерь активной мощности показаны на рис. 5, 6. Сопротивление автоматического выключателя составит в этом случае 2,4 мОм, а предохранителя – 0,5 мОм.

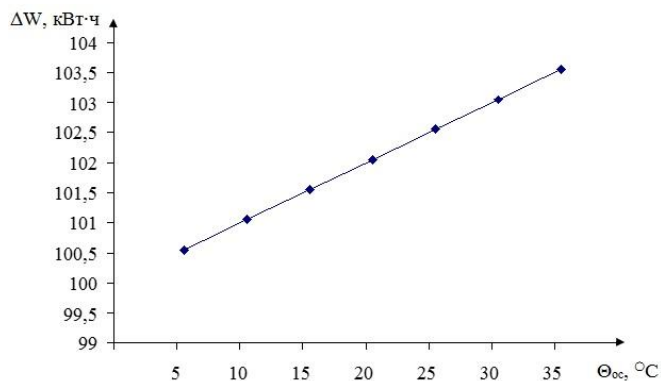


Рис. 5. График зависимости потерь электроэнергии от температуры окружающей среды

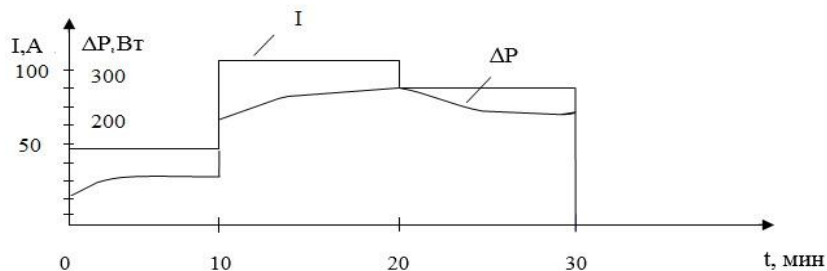


Рис.6. Графики изменения потерь мощности линии с учетом нагревания проводов

Как показали расчеты, в данном случае потери ЭЭ не являются постоянными за расчетный промежуток времени. Следовательно, при определении потерь необходимо учитывать нагревание проводов, если расчетный интервал времени соизмерим с постоянной времени нагревания проводов.

Рассмотрим влияние коэффициента загрузки линии на величину потерь ЭЭ. Примем, что коэффициент загрузки находится в пределах 0,3–1,5. Результаты расчета потерь ЭЭ представлены в табл. 4. График зависимости величины потерь ЭЭ от загрузки линии показан на рис. 7.

По результатам исследований в данном случае потери ЭЭ растут с увеличением тока линии. Неучет k_3 при расчете потерь ведет к погрешности, равной приблизительно 12 %. Следовательно, при определении потерь ЭЭ необходимо учитывать нагревание проводников вследствие прохождения тока нагрузки.

Таблица 4

Результаты расчетов потерь ЭЭ при различных коэффициентах загрузки линии

k_3	Температура провода, °C	R_3 , Ом	Сопротивление ком. аппаратов, Ом	$I_{\text{ср.кв}}$, А	Потери ЭЭ, кВт·ч
0,3	24,5	0,3697336	0,1812	13,8507	5107,006
0,5	32,5	0,37566	0,1812	13,8507	5188,865
0,8	52	0,3901056	0,1812	13,8507	5388,398
1	70	0,40344	0,1812	13,8507	5572,581
1,3	104,5	0,4289976	0,1812	13,8507	5925,6
1,5	132,5	0,44974	0,1812	13,8507	6214,108

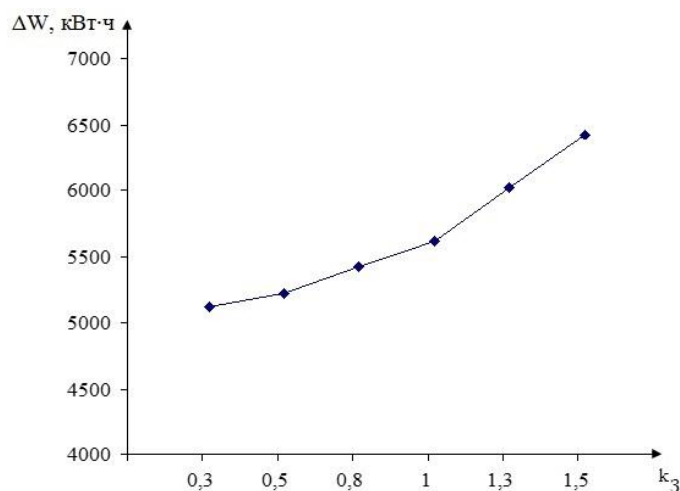


Рис.7. График зависимости потерь электроэнергии от загрузки линии

Покажем, как влияет на величину потерь ЭЭ неучет сопротивлений контактных соединений коммутационных аппаратов. На рис.1 показана радиальная цеховая сеть, на линиях которой установлено различное количество коммутационных аппаратов (от 2 до 6).

Проведем расчет потерь ЭЭ при температуре окружающей среды 20 °C для линии
- с учетом сопротивлений коммутационных аппаратов:

$$\Delta W = 3 \cdot 2,8939^2 \cdot 0,1694 \cdot 24 = 102,1221 \text{ кВт·ч},$$

- без учета сопротивления коммутационных аппаратов:

$$\Delta W = 3 \cdot 2,8939^2 \cdot 0,0371 \cdot 24 = 22,3508 \text{ кВт·ч}.$$

Для остальных линий результаты расчета потерь ЭЭ приведены в табл. 5.

Таблица 5

Результаты вычислений потерь электроэнергии с учетом и без учета сопротивлений коммутационных аппаратов с указанием погрешности расчета

№ линии	Температура провода, °С	Rэ, Ом	Сопротивление ком. аппаратов, Ом	I _{ср.кв} , А	Потери ЭЭ с учетом	Потери ЭЭ без учета	Погрешности от неучета, %
2,7	20,4641	0,1694	0,1323	2,894	102,122	22,351	78
3,8	22,3548	0,2235	0,1488	6,834	751,498	251,17	66
4,9	24,7811	0,2473	0,1765	8,844	1392,64	397,79	72
5,10	32,4637	0,2784	0,1812	13,85	3845,67	1342,8	65
6,11	24,0378	0,3618	0,2207	7,699	1544,07	602,29	61

Как показывают расчеты, неучет сопротивлений контактных соединений коммутационных аппаратов дает достаточно большие погрешности определения потерь ЭЭ – до 80%.

Оценим влияние вида графика нагрузки на результаты определения потерь ЭЭ. Суточные графики нагрузки характеризуются коэффициентом формы (K_ϕ). Для электрических нагрузок большинства промышленных предприятий значение K_ϕ обычно находится в пределах 1,01–1,1. Меньшие значения K_ϕ соответствуют электрическим нагрузкам с большим числом приемников (например, вся электрическая нагрузка цеховой заводской подстанции); большие значения относятся к электрическим нагрузкам с меньшим числом приемников (например, какая-либо линия, отходящая от подстанции).

Потери ЭЭ цеховой сети определяются по выражению

$$\Delta W = 3 \cdot K_\phi^2 \cdot I_{\text{ср}}^2 \cdot R_\Sigma \cdot T,$$

где R_Σ – эквивалентное сопротивление сети; T – расчетный период определения потерь ЭЭ; $I_{\text{ср}}$ – средний ток участка сети; K_ϕ (определяем по суммарному графику нагрузки) равен 1,045.

Для суммарного графика нагрузки определим потери ЭЭ:

- с учетом K_ϕ :

$$\Delta W = 1,045 \cdot 3 \cdot 38,9028^2 \cdot 1,5659 \cdot 24 = 178,310 \text{ МВт} \cdot \text{ч},$$

- без учета K_ϕ :

$$\Delta W = 3 \cdot 38,9028^2 \cdot 1,5659 \cdot 24 = 170,631 \text{ МВт} \cdot \text{ч}.$$

Таким образом, расчеты показали, что погрешность от неучета формы графика нагрузки при определении потерь ЭЭ лежит в пределах 10%.

На рис. 8 показана диаграмма погрешностей вычислений от неучета основных параметров электрооборудования (факторов) при определении величины потерь ЭЭ в цеховых сетях низкого напряжения.

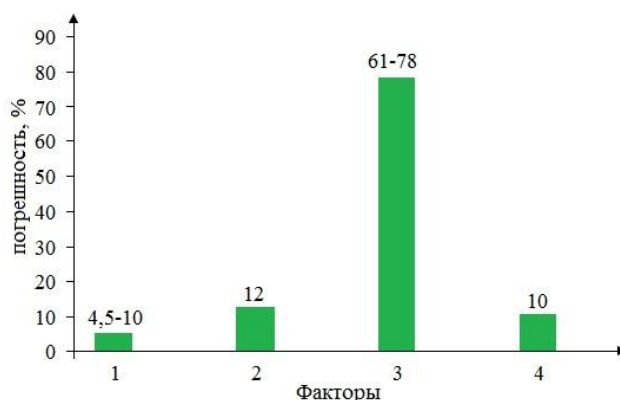


Рис. 8. Результаты оценки погрешностей от неучета основных факторов: 1 – неучет температуры окружающей среды; 2 – неучет процесса нагревания проводников током нагрузки; 3 – неучет сопротивлений коммутационных аппаратов; 4 – неучет вида графика нагрузки

Выводы

Анализ параметров электрооборудования систем промышленного электроснабжения показал, что при оценке величины потерь ЭЭ в цеховых сетях необходимо учитывать влияние следующих факторов: нагрева проводников, обусловленного прохождением тока нагрузки и температурой окружающей среды; сопротивления контактных соединений коммутационных аппаратов и их числа, так как линии цеховых сетей имеют большое количество последовательных узлов с контактными соединениями и, при этом, сопротивление аппарата оказывается соизмеримым с сопротивлением линии; вида графика нагрузки; температуры окружающей среды. Отсутствие достоверной информации об элементах цеховых сетей низкого напряжения и неучет основных схемных и режимных параметров, определяющих эти параметры, ведет к погрешности от 5 до 80 % при вычислении потерь ЭЭ в сетях промышленного электроснабжения.

Литература

1. Грунтович Н.В., Ефремов Л.Г., Федоров О.В. Совершенствование систем управления энергетической эффективностью и экономической безопасностью промышленных предприятий // Вестник Чувашского университета. 2015. №3. С. 40–48.
2. Немцев А.Г., Федоров О.В., Шестакова Л.А. О вибрации электродвигателей при наличии высших гармонических составляющих в напряжении источника питания // Труды VIII международной (XIX всероссийской) конференции по автоматизированному электроприводу АЭП-2014 в 2-х томах. 2014. С. 330–332.
3. Баринов В.А. Совершенствование нормативов надежности функционирования электроэнергетических систем / В.А. Баринов, Г.А. Вояков, В.В. Калита, Ф.Л. Коган, А.С. Маневич, В.В. Могилев, Ф.И. Синьчугов и др. // Электричество. 1993. №7. С. 17–23.
4. Крюков О.В., Леонов В.П., Федоров О.В. Применение микропроцессорной техники в нагружающих устройствах. // Двигателестроение. 1987. №7.
5. Рябчицкий М.В. Низковольтные коммутационные (силовые) аппараты для нужд электроэнергетики / М.В. Рябчицкий, Д.Н. Нечаев, А.В. Кокорин // Автоматизация и ИТ в энергетике. 2014. №8 (61). С.4–10.
6. Бондарь Н.Ф., Федосеева А.В. Прогнозирование электропотребления промышленного предприятия // Вестник горно-металлургической секции Российской академии естественных наук. Отделение металлургии. 2005. №15. С. 101–105.

7. Шпиганович А.А. Анализ влияния вероятностных параметров электрооборудования на эффективность функционирования систем электроснабжения // Вести вузов Черноземья. 2013. №2. С.25–32.
8. Шпиганович А.Н., Шпиганович А.А. Оценка эффективности безотказности. // Вести вузов Черноземья. 2013 №1. С.25–33.
9. Шпиганович А.Н., Шпиганович А.А., Квашина Г.В. К оценке параметров безотказности оборудования систем электроснабжения // Вести высших учебных заведений Черноземья. 2016. №4. С. 48–56.
10. Голубцов Н.В., Ефремов Л.Г., Федоров О.В. Проблема эффективности использования энергоресурсов // Вестник Чувашского университета. 2014. №2. С.18–22.
11. Петушков М.Ю., Сарваров А.С., Федоров О.В. Оценка ресурсосбережения электрооборудования // Электрооборудование: эксплуатация и ремонт. 2015. №3. С. 24–28.
12. Егоров А.Н, Кузнецов Н. М., Федоров О.В. Влияние электропривода с вентильным преобразователем на качество электрической энергии // Энергоэффективность: опыт, проблемы, решения. 2010. № 7. С. 21–23.
13. Сарваров А.С., Шевырëв Ю.В., Фëдоров О.В. Оценка эффективности затрат на повышение энергетических показателей в сетях с полупроводниковыми преобразователями // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Энергетика. 2015. Т. 15, № 3. С 11–19.
14. Yu-Lung L., Hong W., Jing-Gin C. Simulation and reliability analysis of shunt active power theory // Journal of Zhejiang University Science. 2007. №3. P. 416–421.
15. Ajami A., Hosseini S.H. Implementation of Novel Control Strategy for Shunt Active Filter // Ecti transactions on electrical eng., electronics and communications. 2006. №1. P.40–46.
16. Erickson R.W. Some Topologies of High Quality Rectifiers // First International Conference on Energy, Power and Motion Control. 1997. P. 1–6.
17. Graovac D., Katic V., Rufer A. Universal power quality system – an extension to universal power quality conditioner // international conference on power electronics and motion control. 2000. №4. P. 32–38.

Авторы публикации

Грачева Елена Ивановна – д-р техн. наук, профессор кафедры «Электроснабжение промышленных предприятий» (ЭПП) Казанского государственного энергетического университета (КГЭУ).

Алимова Алсу Нурхайдаровна – магистрант кафедры «Электроснабжение промышленных предприятий» (ЭПП) Казанского государственного энергетического университета (КГЭУ).

References

1. Gruntovich N.V., Efremov L.G., Fedorov O.V. Enhancement of management systems energetic efficiency and economic safety of the industrial enterprises. //Bulletin of the Chuvash university. 2015. No. 3. P. 40–48.
2. Nemtsev A.G., Fedorov O.V., Shestakova L.A. About vibration of electromotors in the presence of the higher harmonic components in power supply tension // Works VIII international (the XIX All-Russian) conferences on the automated AEP-2014 electric drive in 2 volumes. 2014. P. 330–332.
3. Barinov V.A. Enhancement of standards of reliability of functioning of electrical power systems/V.A. Barinov, G.A. Voyakov, V.V. Kalita, F.L. Kogan, A.S. Manevich, V.V. Mogilev, F.I. Sinchugov, etc.//Electricity. 1993. No. 7. P. 17–23.
4. Kryukov O.V., Leonov V.P., Fedorov O.V. Application of microprocessor technique in the loading devices. // Engine building. 1987. No. 7.
5. Ryabchitsky M.V. Low-voltage switching (force) devices for needs of power industry / M.V. Ryabchitsky, D.N. Nechayev, A.V. Kokorin//Automation and IT in power engineering. 2014. No. 8 (61) P. 4–10.

6. Cooper N.F., Fedoseyeva A.V. Prediction of a power consumption of the industrial enterprise//Messenger of mining and metallurgical section of the Russian Academy of Natural Sciences. Separation of metallurgy. 2005. No. 15. P. 101–105.
7. Spiranovic A.A. Analysis of influence of probable parameters of an electric equipment on efficiency of functioning of systems of electrical power supply//Messages of higher education institutions of the Black Earth. 2013. No. 2. P. 25–32.
8. Spiranovic A.N., Spiranovic A.A. Assessment of efficiency of faultlessness. // Messages of higher education institutions of the Black Earth. 2013 No. 1. P. 25–33.
9. Spiranovic A.N., Spiranovic A.A., Kvashnina G.V. To assessment of parameters of faultlessness of the equipment of systems of electrical power supply//Messages of higher educational institutions of the Black Earth. 2016. No. 4. P. 48–56.
10. Stuffed cabbage N.V., Efremov L.G., Fedorov O.V. Problem of efficiency of use of energy resources//Bulletin of the Chuvash university. 2014. No. 2. P. 18–22.
11. Cockerels M.Yu., Sarvarov A. S., Fedorov O.V. totsenska of resource-saving of an electric equipment//Electric equipment: maintenance and repair. 2015. No. 3. P. 24–28.
12. Egorov A. N, Kuznetsov N. M., Fedorov O.V. Influence of the electric drive with the gated transformer on quality of electrical energy//Energy efficiency: experience, problems, decisions. 2010. No. 7. P. 21–23.
13. Sarvarov A. S., Shevryyov Yu.V., Fyodorov O.V. Assessment of efficiency of costs of increase in energetic indices on networks with semiconductor transformers//the Bulletin of the Southern Ural State University. Series: Power engineering. 2015. V. 15, No. 3. P. 11–19.
14. Yu-Lung L., Hong W., Jing-Gin C. Simulation and reliability analysis of shunt active power theory // Journal of Zhejiang University Science. 2007. №3. P. 416–421.
15. Ajami A., Hosseini S.H. Implementation of Novel Control Strategy for Shunt Active Filter // Ecti transactions on electrical eng., electronics and communications. 2006. №1. P.40–46.
16. Erickson R.W. Some Topologies of High Quality Rectifiers // First International Conference on Energy, Power and Motion Control. 1997. P. 1–6.
17. Graovac D., Katic V., Rufer A. Universal power quality system – an extension to universal power quality conditioner // international conference on power electronics and motion control. 2000. №4. P. 32–38.

Authors of the publication

Gracheva Elena Ivanovna – Grand PhD in Engineering sciences, Professor of the Department "Power Supply of industrial enterprises" (EPP) Kazan state power engineering University (KSPEU).

Alimova Alsu Nurkhydarovna – Master's Degree student of the Department "Power Supply of industrial enterprises" (EPP) Kazan state power engineering University (KSPEU).

Поступила в редакцию

21 февраля 2018 г.