

ВЛИЯНИЕ РЕЖИМНЫХ И СХЕМНЫХ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ НА ЭКВИВАЛЕНТНОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ ЦЕХОВЫХ СЕТЕЙ

А.И. ФЕДОТОВ, Е.И. ГРАЧЕВА, О.В. НАУМОВ, Р.Р. САДЫКОВ

Казанский государственный энергетический университет

В статье представлены номограммы, характеризующие отношение сопротивления низковольтных коммутационных аппаратов и дополнительного сопротивления линии, обусловленного нагревом проводника, к величине общего сопротивления линии цеховых сетей, что позволяет уточнить величину эквивалентного сопротивления сети и, следовательно, снизить погрешность определения потерь электроэнергии.

Ключевые слова: цеховые электрические сети низкого напряжения, низковольтные электрические аппараты, работоспособность.

Одной из важнейших характеристик функционирования внутризаводских сетей промышленного электроснабжения является уровень потерь электроэнергии [1, 2].

Снижение потерь электроэнергии в современных условиях постоянного роста стоимости энергоносителей является актуальной задачей общего комплекса энергосберегающих мероприятий. Электроэнергия является единственным видом продукции, транспортировка которой осуществляется за счёт расхода определенной части самой продукции, поэтому потери при её передаче неизбежны. При этом возникает необходимость в определении достоверного значения потерь электроэнергии. В условиях эксплуатации сетей значение потерь электроэнергии приобретает самостоятельное значение, так как оно является важным показателем технического состояния сетей и правильности их эксплуатации. В связи с этим к точности определения потерь здесь предъявляются высокие требования [3, 4].

Цеховые сети напряжением до 1000В вследствие их большой протяженности характеризуются довольно высокими значениями потерь электроэнергии. Непосредственное их измерение вызывает определенные трудности и даёт большую ошибку в результатах. Поэтому более точный способ определения потерь электроэнергии – расчетный, который широко применяется на практике.

Как известно, потери электроэнергии в элементах систем электроснабжения зависят от величины тока нагрузки и эквивалентного сопротивления.

Неполнота параметрической режимной информации о сети заставляет использовать методы расчета потерь электроэнергии, основанные на тех или иных допущениях, определяющих предполагаемое влияние на результаты расчета отсутствующей информации. Погрешность определения потерь электроэнергии, вызванная неточным представлением в расчете величины эквивалентного сопротивления (считающейся известной) может быть существенной [5].

Как известно, потери электроэнергии для участка трехфазной сети определяются по выражению

$$\Delta W = 3 I^2 r t, \quad (1)$$

где I и r – эффективный ток и сопротивление кабеля или провода участка сети; t – время потерь.

Экспериментальные данные [6, 7, 8] и опыт эксплуатации свидетельствуют о весьма существенном влиянии активного сопротивления контактных соединений низковольтных коммутационных аппаратов на общее сопротивление кабельных линий [6]. В связи с этим в современных промышленных электрических сетях низкого напряжения требуется уточнение величины эквивалентного сопротивления цеховых сетей [9, 10].

Сопротивление линии r может быть представлено как

$$r = r_{20}l \left[1 + \alpha \cdot (\theta - 20) \right] + \sum_1^n r_n, \quad (2)$$

где r_{20} – сопротивление 1 м жилы кабеля (провода) при температуре 20 °С, мОм/м; l – длина линии, м; α – температурный коэффициент сопротивления материала провода линии, равный для алюминия 0,00403 °С⁻¹; θ – температура жилы провода, °С;

$\sum_1^n r_n$ – сумма сопротивлений контактных соединений, в том числе и коммутационных аппаратов, включенных в линию, мОм. Величины сопротивлений низковольтных коммутационных аппаратов с различными номинальными токами, аналитические выражения для определения сопротивлений коммутационных аппаратов в зависимости от номинального тока получены в ходе экспериментальных исследований, а также на основании аналитической информации [7, 11].

Температура жилы проводника определяется по выражению

$$\theta = \theta_0 + \tau_t, \quad (3)$$

где θ_0 – температура окружающей среды, °С; τ_t – превышение температуры жилы над температурой окружающей среды, вызванное наличием потерь энергии в проводнике, °С.

Превышение температуры проводника в переходном режиме в произвольный момент времени после увеличения, уменьшения или отключения нагрузки определяется уравнением теплового баланса.

При известных длительно допустимом токе I_H , длительно допустимом превышении температуры проводника τ_H при других значениях тока I для данного проводника превышение температуры τ_t , с достаточной точностью для инженерных расчетов, определяется выражением

$$\tau_t = \tau_H \left(\frac{I}{I_H} \right)^2, \quad (4)$$

так как

$$\frac{r_I}{r_{I_H}} = \tau_H \left(\frac{I}{I_H} \right)^2,$$

где r_I – сопротивление линии при токе I ; r_{I_H} – сопротивление при токе I_H .

На примере цеха «Машины глубокой печати» проведен расчет сопротивления электрической сети 0,4кВ со следующими эксплуатационными параметрами: линии проложены по кабельным конструкциям и в металлических трубах в подготовке пола; длины кабелей определяются по плану с учетом запаса, а не «внатяжку», для компенсации монтажных и температурных удлинений; на каждой линии установлены по два коммутационных аппарата (автоматический выключатель марки ВА и магнитный пускатель ПМЛ).

По выражению 2 построены графики (рис. 1–5), характеризующие отношение сопротивления низковольтных коммутационных аппаратов в общем сопротивлении линии при различных величинах номинального тока и коэффициенте загрузки, равном 0,6.

На рис. 6-9 показаны кривые, описывающие отношение дополнительного сопротивления, обусловленного нагревом проводника к величине общего сопротивления линии.

$I_{\text{ном}}, \text{A}$ $S, \text{мм}^2$

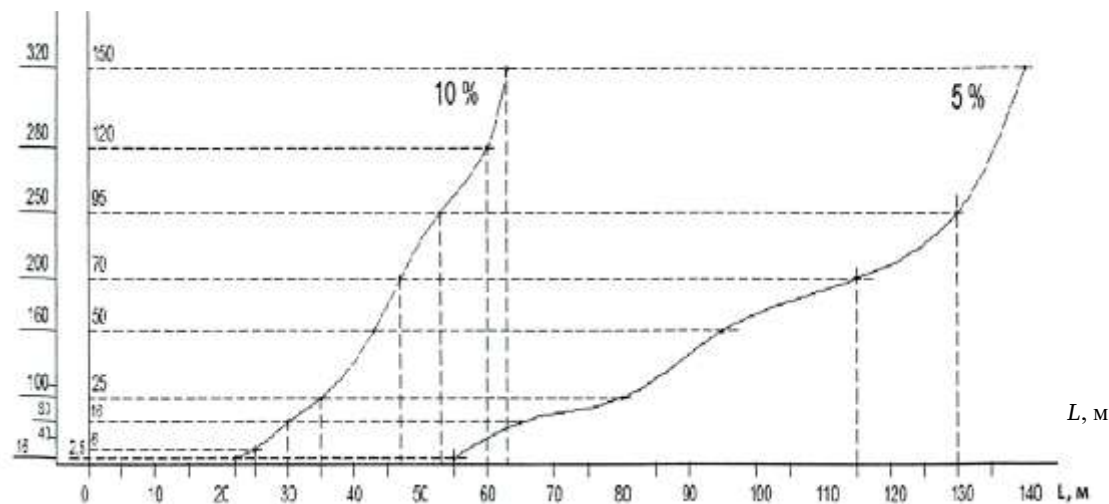


Рис. 1. Отношение сопротивления контактов автоматического выключателя к общему сопротивлению линии при ее длине L и сечении S

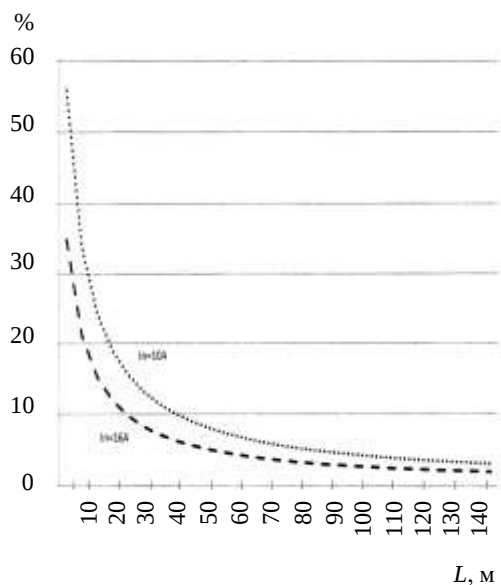


Рис. 2. Отношение сопротивления контактов коммутационных аппаратов к общему сопротивлению линии сечением $2,5 \text{ мм}^2$ при номинальном токе в 10А и 16А

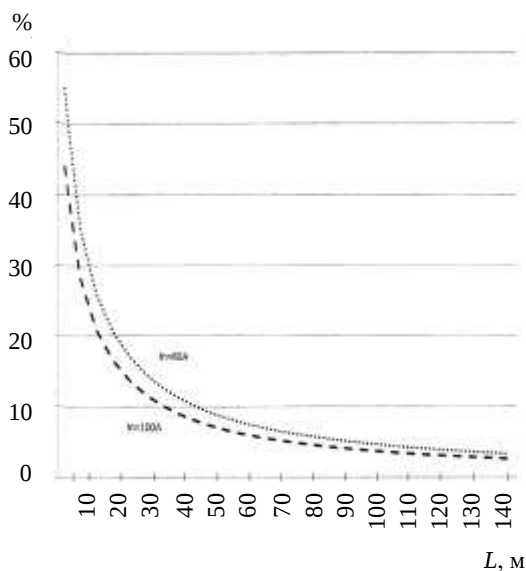


Рис. 3. Отношение сопротивления контактов коммутационных аппаратов к общему сопротивлению линии сечением 25 мм^2 при номинальном токе в 80А и 100А

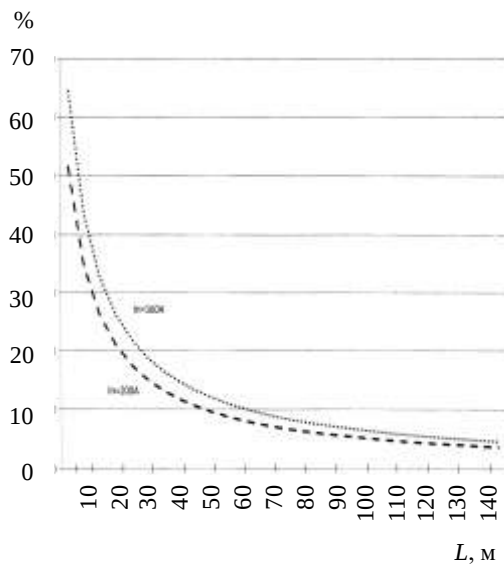


Рис. 4. Отношение сопротивления контактов коммутационных аппаратов к общему сопротивлению линии сечением 70 мм^2 при номинальном токе в 160А и 200А

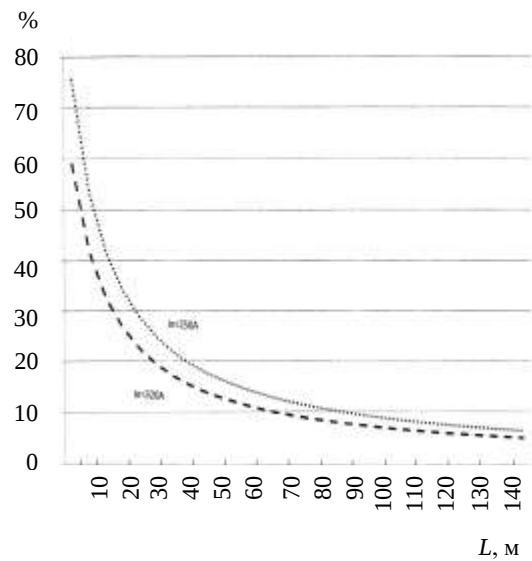


Рис. 5. Отношение сопротивления контактов коммутационных аппаратов к общему сопротивлению линии сечением 150 мм^2 при номинальном токе в 250А и 320А

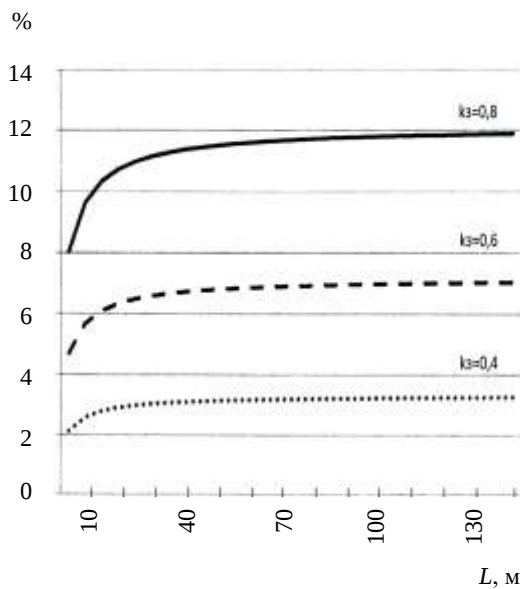


Рис. 6. Отношение дополнительного сопротивления, обусловленного нагревом кабеля, к величине общего сопротивления линии сечением $2,5 \text{ мм}^2$ при различных коэффициентах загрузки

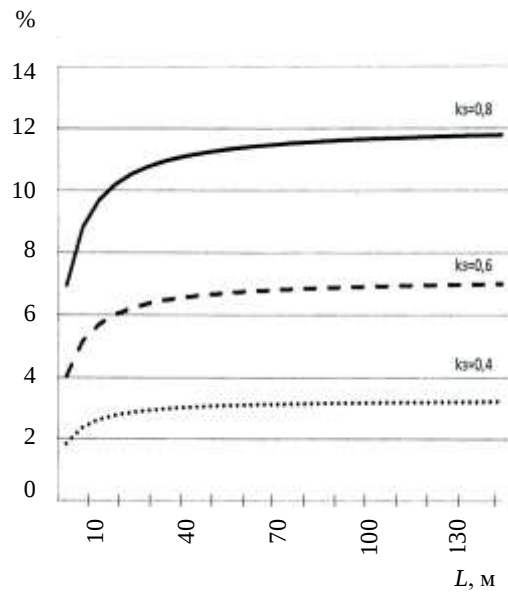


Рис. 7. Отношение дополнительного сопротивления, обусловленного нагревом кабеля, к величине общего сопротивления линии сечением 25 мм^2 при различных коэффициентах загрузки

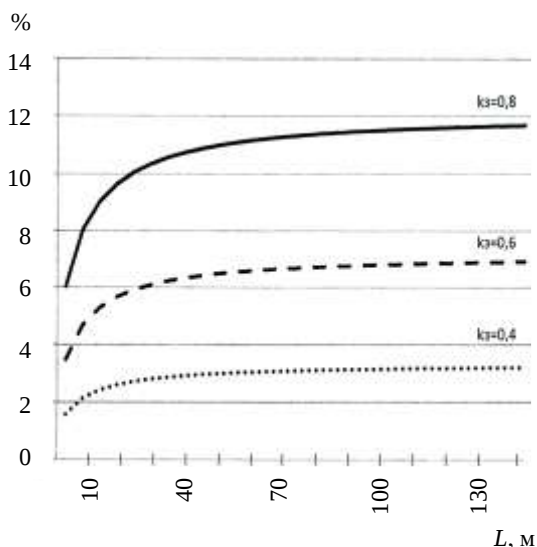


Рис. 8. Отношение дополнительного сопротивления, обусловленного нагревом кабеля, к величине общего сопротивления линии сечением 70 мм² при различных коэффициентах загрузки

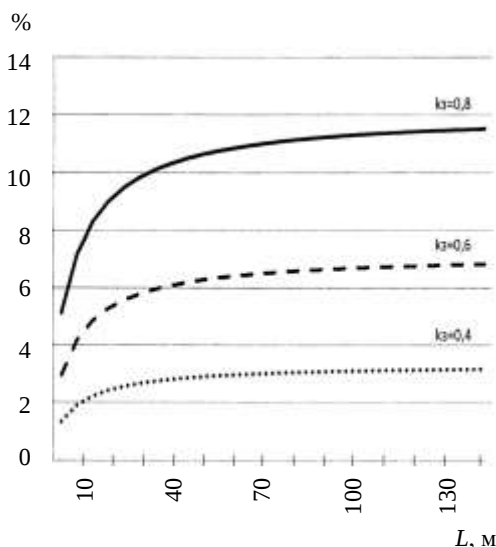


Рис. 9. Отношение дополнительного сопротивления, обусловленного нагревом кабеля, к величине общего сопротивления линии сечением 150 мм² при различных коэффициентах загрузки

Обсуждение результатов расчетов:

1. С увеличением сечения проводника вклад величины сопротивления низковольтных коммутационных аппаратов в общее сопротивление линии увеличивается (рис. 1). Это объясняется тем, что сопротивление проводника с увеличением сечения уменьшается быстрее, чем сопротивления коммутационных аппаратов, установленных на линии (рис. 2–5).

2. Дополнительное сопротивление, обусловленное нагревом проводника, зависит только от коэффициента загрузки линии, и доля его в общем сопротивлении является величиной постоянной для всего ряда сечения проводника (рис. 6–9).

3. Так как линии цеховых сетей имеют небольшую длину, при определении общего сопротивления линии и потерь электроэнергии необходим учет таких параметров, как сопротивление контактных соединений низковольтных коммутационных аппаратов и нагрев проводников, что позволяет уточнить величину эквивалентного сопротивления сети и, следовательно, снизить погрешность определения величины потерь электроэнергии.

Summary

The article presents a nomogram for determining the percentage of resistance voltage switchgear and an additional line resistance due to heating of the conductor in the value of the total resistance line shop networks, that allows to specify the value of the equivalent resistance network and, consequently, reduce the error in the determination of power losses.

Shop electric networks of a low-voltage, low-voltage electric devices, serviceability.

Литература

1. Грачева Е.И. Расчетное определение потерь электроэнергии в цеховых сетях // Известия вузов. Проблемы энергетики. 2009. №11-12. С. 51-59.
2. Грачева Е.И., Наумов О.В. Оценка величины потерь электроэнергии в электрических сетях до 1000В // Известия вузов. Проблемы энергетики. 2003. №1-2. С. 108-117.

3. Грачева Е.И., Наумов О.В. Анализ функциональных параметров и структуры систем внутрицехового электроснабжения // Известия вузов. Проблемы энергетики. 2004. №1-2. С. 99-106.
4. Федотов А.И., Грачева Е.И., Наумов О.В. Особенности определения эффективности функционирования цеховых сетей // Известия вузов. Проблемы энергетики. 2004. №9-10. С. 58-66.
5. Федотов А.И., Грачева Е.И., Копытова Н.А. Учет нагрева элементов цеховых сетей при электроснабжении // Известия вузов. Проблемы энергетики. 2011. №9-10. С. 78-85.
6. Петин О.В., Щербаков Е.Ф. Испытания электрических аппаратов. М.: Высш. шк., 1985. 215 с.
7. Шевченко В.В., Грачева Е.И. Определение сопротивления контактных соединений низковольтных коммутационных аппаратов // Промышленная энергетика. 2002. №1. С. 42-43.
8. Грачева Е.И., Наумов О.В. Сравнительный анализ расчетных и экспериментальных значений сопротивлений коммутационных аппаратов // Известия вузов. Проблемы энергетики. 2003. №11-12. С. 176-180.
9. Грачева Е.И. Оценка величины потерь электроэнергии в низковольтных коммутационных аппаратах // Известия вузов. Проблемы энергетики. 2009. №7-8. С. 74-81.
10. Грачева Е.И. Прогнозирование изменения сопротивления контактных соединений низковольтных коммутационных аппаратов различными методами // Известия вузов. Проблемы энергетики. 2008. №7-8. С. 44-52.
11. Федотов А.И., Грачева Е.И., Наумов О.В. Оценка сопротивлений контактных соединений коммутационной аппаратуры на основе статистической информации // Известия вузов. Проблемы энергетики. 2013. №1-2. С. 45-56.

Поступила в редакцию

02 июня 2015 г.

Федотов Александр Иванович – д-р техн. наук, профессор кафедры «Электроэнергетические системы и сети» (ЭСиС) Казанского государственного энергетического университета (КГЭУ). Тел: 8(843)298-41-30, 8(843)519-42-72.

Грачева Елена Ивановна – канд. техн. наук, доцент кафедры «Электроснабжение промышленных предприятий» (ЭПП) Казанского государственного энергетического университета (КГЭУ). Тел: 8(843)224-57-95, 8(843)519-42-73.

Наумов Олег Витальевич – канд. техн. наук, доцент кафедры «Электроэнергетические системы и сети» (ЭСиС) Казанского государственного энергетического университета (КГЭУ). Тел: (843) 571-69-54, (843)519-42-72. E-mail: 311670@list.ru.

Садыков Руслан Рустемович – аспирант кафедры «Электроснабжение промышленных предприятий» (ЭПП) Казанского государственного энергетического университета (КГЭУ). Тел: 8(843)519-42-73.