МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Юго-Западный государственный университет»
(ЮЗГУ)

Кафедра электроэнергетики и электротехники

УТВЕРЖДАЮ
Проректор
_____ Т. Ю. Ткачева
«_2_» _11_ 2026 г.

КАЧЕСТВО И ПОТЕРИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

Методические указания к практическим занятиям
для студентов направления подготовки 13.04.02
Электроэнергетика и электротехника

Курск 2026

УДК 621.311
М 54
Составители: В.И. Бирюлин, Д.В. Куделина, В.О. Поданов, В.А. Чаплыгин

Рецензент:
Кандидат технических наук, доцент кафедры
«Электроэнергетика и электротехника» *О.М. Ларин*

Качество и потери электроэнергии в электроэнергетических системах: методические указания к практическим занятиям / Юго-Зап. гос. ун-т; сост.: В.И. Бирюлин, Д.В. Куделина, В.О. Поданов, В.А. Чаплыгин. – Курск, 2026. – 23 с.: – Библиогр.: с.23.

Содержат сведения по расчетам показателей качества электроэнергии и потерь электроэнергии в системах электроснабжения. Приведены требования к средствам измерений, применяемых для определения показателей качества электроэнергии.

Предназначены для направления подготовки 13.04.02 Электроэнергетика и электротехника всех форм обучения.

Текст печатается в авторской редакции

Подписано в печать 2.11.26. Формат 60х84 1/16.
Усл.печ.л.1,3. Уч.–изд.л.1,2. Тираж 100 экз. Заказ 950. Бесплатно.
Юго-Западный государственный университет.
305040, г.Курск, ул.50 лет Октября, 94

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №1

ПОКАЗАТЕЛИ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

Цель работы: *ознакомление с показателями качества электроэнергии, формулами для их расчета, нормативными значениями этих показателей* .

Краткие методические указания

Изменения характеристик напряжения электропитания в точке передачи электрической энергии пользователю электрической сети, относящихся к частоте, значениям, форме напряжения и симметрии напряжений в трехфазных системах электроснабжения, подразделяют на две категории - продолжительные изменения характеристик напряжения и случайные события.

Продолжительные изменения характеристик напряжения электропитания представляют собой длительные отклонения характеристик напряжения от номинальных значений и обусловлены в основном изменениями нагрузки или влиянием нелинейных нагрузок.

Случайные события представляют собой внезапные и значительные изменения формы напряжения, приводящие к отклонению его параметров от номинальных. Данные изменения напряжения, как правило, вызываются непредсказуемыми событиями (например, повреждениями оборудования пользователя электрической сети) или внешними воздействиями (например, погодными условиями или действиями стороны, не являющейся пользователем электрической сети).

Применительно к продолжительным изменениям характеристик напряжения электропитания, относящихся к частоте, значениям, форме напряжения и симметрии напряжений в трехфазных системах устанавливаются показатели и нормы качества электроэнергии (КЭ).

Отклонение частоты

Показателем КЭ, относящимся к частоте, является отклонение значения основной частоты напряжения электропитания от номинального значения Δf , Гц

$$\Delta f = f_m - f_{nom},$$

(1)

где f_m - значение основной частоты напряжения электропитания, Гц;

f_{nom} - номинальное значение частоты напряжения электропитания, 50 Гц.

Медленные изменения напряжения электропитания (как правило, продолжительностью более 1 мин) обусловлены обычно изменениями нагрузки электрической сети.

Показателями КЭ, относящимися к медленным изменениям напряжения электропитания, являются отрицательное $\delta U_{(-)}$ и положительное $\delta U_{(+)}$ отклонения напряжения электропитания в точке передачи электрической энергии от номинального или согласованного значения, %:

$$\delta U_{(-)} = [(U_0 - U_{m\,(-)})/U_0]\cdot 100; \quad (2)$$

$$\delta U_{(-)} = [(U_{m(+)} - U_0)/U_0]\cdot 100; \quad (3)$$

где $U_{m\,(-)}$, $U_{m(+)}$ - значения напряжения электропитания, меньшие U_0 и большие U_0;

U_0 - напряжение, равное стандартному номинальному напряжению U_{nom} или согласованному напряжению U_c .

Одиночные быстрые изменения напряжения вызываются в основном резкими изменениями нагрузки в электроустановках потребителей, переключениями в системе либо неисправностями и характеризуются быстрым переходом среднеквадратического значения напряжения от одного установившегося значения к другому.

Обычно одиночные быстрые изменения напряжения не превышают 5% в электрических сетях низкого напряжения и 4% - в электрических сетях среднего напряжения, но иногда изменения напряжения с малой продолжительностью до 10% U_{nom} и до 6% U_c соответственно могут происходить несколько раз в день.

Гармонические составляющие напряжения обусловлены, как правило, нелинейными нагрузками пользователей электрических сетей, подключаемыми к электрическим сетям различного

напряжения. Гармонические токи, протекающие в электрических сетях, создают падения напряжений на полных сопротивлениях электрических сетей. Гармонические токи, полные сопротивления электрических сетей и, следовательно, напряжения гармонических составляющих в точках передачи электрической энергии изменяются во времени.

Показателями КЭ, относящимися к гармоническим составляющим напряжения являются:

- значения коэффициентов гармонических составляющих напряжения до 40-го порядка $K_{U(n)}$ в процентах напряжения основной гармонической составляющей U_1 в точке передачи электрической энергии;

- значение суммарного коэффициента гармонических составляющих напряжения (отношения среднеквадратического значения суммы всех гармонических составляющих до 40-го порядка к среднеквадратическому значению основной составляющей) K_U, % в точке передачи электрической энергии.

Показателями КЭ, относящимися к несимметрии напряжений в трехфазных системах, являются коэффициент несимметрии напряжений по обратной последовательности K_{2U} и коэффициент несимметрии напряжений по нулевой последовательности K_{0U}.

Для указанных показателей КЭ установлены следующие нормы:

- значения коэффициентов несимметрии напряжений по обратной последовательности K_{2U} и несимметрии напряжений по нулевой последовательности K_{0U} в точке передачи электрической энергии, усредненные в интервале времени 10 мин, не должны превышать 2% в течение 95% времени интервала в одну неделю;

- значения коэффициентов несимметрии напряжений по обратной последовательности K_{2U} и несимметрии напряжений по нулевой последовательности K_{0U} в точке передачи электрической энергии, усредненные в интервале времени 10 мин, не должны превышать 4% в течение 100% времени интервала в одну неделю.

Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с показателями КЭ.
2. Изучить формулы для их расчета.
3. По заданным данным определить значения показателей КЭ.

4. Сделать выводы о допустимости найденных значений показателей КЭ.

Контрольные вопросы

1. Что такое качество электроэнергии?
2. Для каких систем устанавливаются показатели несимметрии напряжений.
3. Как определяется отклонение частоты?
4. Как определяется несинусоидальность напряжения?
5. Что относится к случайным событиям при рассмотрении КЭ?

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №2

ОБРАБОТКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

Цель работы: *ознакомление с экспериментальными исследованиями качества электроэнергии, обработкой данных экспериментов, требованиями к средствам измерений.*

Краткие методические указания

Нормативные документы устанавливают для каждого измеряемого показателя КЭ три класса характеристик процесса измерения — A, S и B (далее — классы A, S, B).

Класс A применяют, если необходимо проведение точных измерений, например, при проверке соответствия стандартам, устанавливающим нормы КЭ, при выполнении условий договоров.

Класс S применяют при проведении обследований и оценке КЭ с использованием статистических методов, в том числе при ограниченной номенклатуре показателей.

Класс B установлен для того, чтобы избежать признания средств измерений многих существующих типов устаревшими.

Проведение измерений по классу A.

В качестве основного интервала времени при измерениях показателей КЭ, характеризующихся среднеквадратическим значением (относящихся к напряжению, гармоникам и интергармоникам, несимметрии напряжений, установившемуся отклонению напряжения в системах электроснабжения 50 Гц), должен быть принят интервал длительностью 10 периодов для систем электроснабжения частотой 50 Гц.

Результаты измерений на основных интервалах времени затем объединяют для получения значений показателей КЭ для трех различных увеличенных интервалов времени (далее — объединенные интервалы):

- 3 с (150 периодов для систем электроснабжения частотой 50 Гц;
- 10 мин;

- 2 ч.

За значение величины на объединенном интервале времени принимают значение, равное корню квадратному из среднеарифметического значения квадратов входных величин.

Значение величины на объединенном интервале времени 3 с (150 периодов) получают объединением пятнадцати результатов измерений на основных интервалах времени (10 периодов).

Значение величины на объединенном интервале времени 10 мин получают объединением результатов измерений на основных интервалах времени 10 периодов. Пропуски между интервалами времени 10 периодов не допускаются.

Значение величины на объединенном интервале времени 2 ч получают объединением 12 результатов измерений на объединенных 10-минутных интервалах времени.

Для класса S применяют алгоритм объединения результатов измерений, установленный для класса А.

Алгоритм объединения результатов измерений для класса В устанавливает изготовитель СИ.

Неопределенность измерения текущего времени для класса А не должна превышать + 20 мс при измерениях в системах электроснабжения частотой 50 Гц независимо от длительности объединенного интервала времени.

Данное требование к измерению текущего времени может быть выполнено, например, с применением процедуры синхронизации, периодически проводимой во время измерений, с помощью приемника систем ГЛОНАСС, GPS или путем приема радиосигналов точного времени.

Неопределенность измерения текущего времени для класса S не должна превышать ± 5 с за 24 ч. Неопределенность измерения текущего времени и метод определения объединенных интервалов для класса В (при их наличии) устанавливает изготовитель СИ.

Во время провала напряжения, перенапряжения или прерывания напряжения алгоритм, применяемый при измерении других показателей КЭ (например частоты), может привести к недостоверному результату. Маркирование результатов измерений позволяет избежать учета единственного события более чем один раз для различных показателей (например учета единственного провала напряжения, как одновременного провала

напряжения и отклонения частоты) и показать, что объединенное значение может быть недостоверным.

Маркирование проводят только при воздействии провалов напряжения, перенапряжений и прерываний напряжения. Выявление провалов напряжения и перенапряжений зависит от пороговых значений, установленных в СИ, оказывающих влияние на принятие решения о том, какие данные должны маркироваться.

Маркирование выполняют при проведении измерений с характеристиками процесса измерения классов A и S показателей КЭ, относящихся: к частоте, значению напряжения, дозе фликера, несимметрии напряжений, гармоникам и интергармоникам напряжения, напряжениям сигналов передачи данных и при измерениях отрицательного и положительного отклонения напряжения.

Порядок выполнения работы

1. По заданным преподавателем данным произвести объединение результатов измерений показателя КЭ (например, частоты) для интервала времени, равного 3 с.
2. Повторить п.1 для других интервалов времени.
3. Повторить п.1 и п.2 для других показателей КЭ.
4. Провести обработку данных измерений для дозы фликера.

Контрольные вопросы

1. Классы проведения измерений.
2. Различия между классами проведения измерений.
3. Требования к неопределенности измерений.
4. Требования к измерениям текущего времени.

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №3

РАСЧЕТ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ПО ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫМ ДАННЫМ

***Цель работы**: ознакомление с методами расчета показателей качества электроэнергии по экспериментальным данным и определение допустимости полученных значений .*

Краткие методические указания

Отклонение значения основной частоты напряжения электропитания от номинального значения Δf , Гц определяется по следующей формуле:

$$\Delta f = f_m - f_{nom}, \qquad (1)$$

где f_m - значение основной частоты напряжения электропитания, Гц;

f_{nom} - номинальное значение частоты напряжения электропитания, 50 Гц.

Для отклонения частоты установлены следующие нормы: отклонение частоты в синхронизированных системах электроснабжения не должно превышать +/- 0,2 Гц в течение 95% времени интервала в одну неделю и +/- 0,4 Гц в течение 100% времени интервала в одну неделю.

При оценке соответствия электрической энергии нормам КЭ, относящимся к частоте, должны быть проведены измерения по ГОСТ 30804.4.30, класс А, при этом маркированные данные не учитывают.

Отрицательное $\delta U_{(-)}$ и положительное $\delta U_{(+)}$ отклонения напряжения электропитания в точке передачи электрической энергии от номинального или согласованного значения, %:

$$\delta U_{(-)} = [(U_0 - U_{m\,(-)})/U_0]\cdot 100; \qquad (2)$$

$$\delta U_{(-)} = [(U_{m(+)} - U_0)/U_0]\cdot 100; \qquad (3)$$

где $U_{m\,(-)}$, $U_{m(+)}$ - значения напряжения электропитания, меньшие U_0 и большие U_0, усредненные в интервале времени 10 мин;

U_0 - напряжение, равное стандартному номинальному напряжению U_{nom} или согласованному напряжению U_c .

Положительные и отрицательные отклонения напряжения в точке передачи электрической энергии не должны превышать 10% номинального или согласованного значения напряжения в течение 100% времени интервала в одну неделю.

Гармонические составляющие напряжения определяются как:

- значения коэффициентов гармонических составляющих напряжения до 40-го порядка $K_{U(n)}$ в процентах напряжения основной гармонической составляющей U_1 в точке передачи электрической энергии;

- значение суммарного коэффициента гармонических составляющих напряжения (отношения среднеквадратического значения суммы всех гармонических составляющих до 40-го порядка к среднеквадратическому значению основной составляющей) K_U, % в точке передачи электрической энергии.

Коэффициент n-ой гармонической составляющей напряжения рассчитывается как отношение действующего значения n-й гармоники к действующему значению U_1 первой гармоники:

$$K_{U(n)} = \frac{U_n}{U_1} \cdot 100\% \cdot$$

Суммарный коэффициент гармонических составляющих напряжения определяется как отношение действующего значения высших гармоник к действующему значению U_1 основной гармоники:

$$K_U = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{N} U_n^2}}{U_1} \cdot 100\%,$$

где N – порядок (номер) последней из учитываемых высших гармоник.

ГОСТ 32144-2013 устанавливает следующие требования:

а) значения коэффициентов гармонических составляющих напряжения $K_{U(n)}$, усредненные в интервале времени 10 мин., не

должны превышать значений, установленных в таблицах 1–3, в течение 95 % времени интервала в одну неделю;

б) значения коэффициентов гармонических составляющих напряжения $K_{U(n)}$, усредненные в интервале времени 10 мин., не должны превышать значений, установленных в таблицах П1–П3, увеличенных в 1,5 раза, в течение 100 % времени каждого периода в одну неделю;

в) значения суммарных коэффициентов гармонических составляющих напряжения K_U, усредненные в интервале времени 10 мин., не должны превышать значений, установленных в таблице П4, в течение 95 % времени интервала в одну неделю;

г) значения суммарных коэффициентов гармонических составляющих напряжения K_U, усредненные в интервале времени 10 мин., не должны превышать значений, установленных в таблице П5, в течение 100 % времени интервала в одну неделю.

Коэффициенты несимметрии напряжений по обратной K_{2U} и нулевой K_{0U} последовательности рассчитываются по формулам:

$$K_{2U} = \frac{U_{2(1)}}{U_{1(1)}} 100\ \%;$$

$$K_{0U} = \frac{\sqrt{3} \cdot U_{0(1)}}{U_{1(1)}} 100\ \%,$$

где $U_{2(1)}$ и $U_{0(1)}$ – соответственно действующие значения напряжений обратной и нулевой последовательности по основной частоте;

$U_{1(1)}$ – действующее значение напряжения прямой последовательности по основной частоте.

Для показателей КЭ, характеризующих несимметрию трехфазной системы напряжений, установлены следующие нормы:

– значения коэффициентов несимметрии напряжений по обратной последовательности K_{2U} и несимметрии напряжений по нулевой последовательности K_{0U} точке передачи электрической энергии, усредненные в интервале времени 10 мин., не должны превышать 2 % в течение 95 % времени интервала в одну неделю;

– значения коэффициентов несимметрии напряжений по обратной последовательности K_{2U} и несимметрии напряжений по нулевой последовательности K_{0U} в точке передачи электрической

энергии, усредненные в интервале времени 10 мин., не должны превышать 4 % в течение 100 % времени интервала в одну неделю.

Порядок выполнения работы

1. Для заданных преподавателем экспериментальных данных выполнить расчет соответствующих показателей КЭ.
2. Определить допустимость найденных показателей КЭ.
3. Повторить п.1, п.2 для другого набора данных.

Контрольные вопросы

1. Значения отклонения частоты согласно ГОСТ 32144-2013.
2. Значения медленных изменений напряжения согласно ГОСТ 32144-2013.
3. Значения показателей КЭ, характеризующих несинусоидальность напряжения согласно ГОСТ 32144-2013.
4. Значения показателей КЭ, характеризующих несимметрию напряжения согласно ГОСТ 32144-2013.

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №4

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОТЕРЬ МОЩНОСТИ В ОСНОВНЫХ ЭЛЕМЕНТАХ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

***Цель работы**: изучение способов определения потерь мощности в элементах систем электроснабжения.*

Краткие методические указания.

Фактические потери мощности и электроэнергии могут быть разделены на четыре составляющие:

1) технические потери электроэнергии, обусловленные физическими процессами, происходящими при передаче электроэнергии по электрическим сетям и выражающимися в преобразовании части электроэнергии в тепло в элементах сетей;

2) расход электроэнергии на собственные нужды подстанций, необходимый для обеспечения работы технологического оборудования подстанций и жизнедеятельности обслуживающего персонала. Этот расход регистрируется счетчиками, установленными на трансформаторах собственных нужд подстанций;

3) потери электроэнергии, обусловленные погрешностями ее измерения (недоучет электроэнергии, метрологические потери).

Сумма этих составляющих хорошо описывается термином технологические потери.

Нагрузочные потери активной мощности ΔP в трехфазном элементе системы электроснабжения с сопротивлением фазы R и током в фазе I определяют по формуле:

$$\Delta P = 3\, I^2 R\,. \qquad (1)$$

С учетом соотношений между полной мощностью, передаваемой по элементу сети S, током в фазе I и линейным напряжением U формула для нагрузочных потерь может быть записана в следующих видах:

$$\Delta P = \frac{S^2}{U^2} R = \frac{P^2 + Q^2}{U^2} R = \frac{P^2 (1 + tg\varphi^2)}{U^2} R, \qquad (2)$$

где P и Q - активная и реактивная мощности, передаваемые по элементу системы электроснабжения;

tgφ - коэффициент реактивной мощности.

В формуле (2) все величины изменяются во времени. Для расчета потерь электроэнергии в этой ситуации необходимо потери мощности в рассчитанных режимах умножить на определенные тем или иным способом интегрирующие множители.

При расчете интегрирующих множителей обычным является допущение о чисто квадратичной зависимости нагрузочных потерь от нагрузки. При этом допущении интегрирующий множитель $M_р$ для определения потерь электроэнергии по потерям мощности, рассчитанным для режима с нагрузкой $P_р$, определяют по формуле, ч:

$$M_p = \sum_{i=1}^{n} P_i^2 \Delta T_i / P_i^2, \qquad (3)$$

где $P_р$ - нагрузка на i-й ступени графика нагрузки;

n - число ступеней графика;

ΔTi - продолжительность i-й ступени графика.

Значение $M_р$ выражается в тех же единицах, что и ΔT, и физически представляет собой эквивалентную продолжительность режима с нагрузкой $P_р$, в течение которой потери мощности $\Delta P_р$ приведут к таким же потерям энергии, что и при ее потреблении по реальному графику. Если $\Delta P_р$ рассчитано для режима максимальной нагрузки, то $M_р$ представляет собой число часов максимальных потерь τ.

На практике в качестве расчетных режимов используют либо режим максимальной нагрузки сети $P_{макс}$, определяемой по контрольным замерам, либо средней $P_{ср}$, определяемой по показаниям счетчиков. В первом случае интегрирующий множитель представляет собой относительное число часов наибольших (максимальных) потерь:

$$\tau_0 = \sum_{i=1}^{n} P_i^2 \Delta T_i / (P_{макс}^2 T). \qquad (4)$$

Метод, использующий величину τ_0 называется методом наибольших потерь.

Во втором случае интегрирующий множитель является произведением T на квадрат коэффициента формы графика нагрузки, определяемый по формуле

$$k_ф^2 = \sum_{i=1}^{n} P_i^2 \Delta T_i / (P_{ср}^2 T). \qquad (5)$$

Метод, использующий величину $k_ф^2$, получил название метода средних нагрузок. Величины (4) и (5) связаны между собой соотношением

$$\tau_0 = k_з^2 k_ф^2 , \qquad (6)$$

где $k_з^2$ - коэффициент заполнения графика (относительное число часов использования максимальной нагрузки).

Значение τ_0 для реальных графиков нагрузки меньше единицы, $k_ф^2$ - больше единицы, и лишь для графика, выраженного прямой линией (узел с неизменной нагрузкой), $\tau_0 = k_ф^2 = 1$. В расчетах потерь электроэнергии всегда используется значение квадрата коэффициента формы графика. Сам коэффициент формы графика обычно не определяют.

Порядок выполнения работы

1.Для заданной преподавателем системы электроснабжения определить параметры элементов.

2. Определить величины потерь мощности при условии постоянной нагрузки .

3. Определить интегрирующие множители для заданного графика неравномерной нагрузки.

4. Определить величины потерь мощности при переменной нагрузке.

Контрольные вопросы

1. Причины возникновения потерь мощности и электро-энергии.

2. Виды потерь мощности и электроэнергии.

3. Назначение интегрирующих множителей.

4. Принципы интегрирующих множителей.

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №5

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ ОЦЕНКИ И АНАЛИЗА ПОТЕРЬ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

Цель работы: *определение значений потерь электроэнергии в элементах системы электроснабжения.*

Краткие методические указания

Нагрузочные потери электроэнергии в каждом элементе системы электроснабжения могут быть рассчитаны одним из двух методов в зависимости от информационной обеспеченности (методы представлены в порядке понижения точности получаемых результатов расчета):

1) оперативных расчетов;

2) средних нагрузок.

Метод оперативных расчетов.

Нагрузочные потери электроэнергии в ВЛ, КЛ, шинопроводе или двухобмоточном трансформаторе за базовый период в кВт·ч определяются по формуле :

$$\Delta W_{нj} = 3 \cdot R \cdot \sum_{j=1}^{M} (I_j^2 \cdot \Delta t_j) \cdot 10^{-3} = R \cdot \sum_{j=1}^{M} \left(\frac{P_j^2 + Q_j^2}{U_j^2} \cdot \Delta t_j \right) \cdot 10^{-3}, \quad (1)$$

где R - активное сопротивление ВЛ, КЛ, шинопровода или двухобмоточного трансформатора, Ом;

I_j - токовая нагрузка ВЛ, КЛ, шинопровода или двухобмоточного трансформатора, принимаемая на интервале времени Δtj неизменной, А;

P_j, Q_j - значения активной и реактивной мощности ВЛ, КЛ, шинопровода или двухобмоточного трансформатора, принимаемые на интервале времени Δt_j неизменными, МВт, Мвар, соответственно;

U_j - значение напряжения на ВЛ, КЛ, шинопровода или двухобмоточного трансформатора, принятое на интервале Δt_j неизменным, кВ;

Δt_j - интервал времени, в течение которого нагрузка элемента сети с сопротивлением R принимается неизменной;

M - количество интервалов времени Δt_j в базовом периоде.

Метод средних нагрузок.

Нагрузочные потери электроэнергии в ВЛ, КЛ, шинопроводе или двухобмоточном трансформаторе за базовый период в кВт·ч определяются по формуле:

$$W_н = k_к \cdot \Delta P_{ср} \cdot T \cdot k^2_ф \,, \qquad (2)$$

где $k_к$ - коэффициент, учитывающий различие конфигураций графиков активной и реактивной нагрузки, о.е.;

$k^2_ф$ - квадрат коэффициента формы графика, о.е.;

T - число часов эксплуатации линии за рассчитываемый период, ч;

$\Delta P_{ср}$ - потери мощности в воздушной и кабельной линиях при средних нагрузках за рассчитываемый период, кВт:

$$\Delta P_{ср} = 3 \cdot I^2_{ср} \cdot R \cdot 10^{-3} \text{ , кВт} \qquad (3)$$

где $I_{ср}$ - среднее значение токовой нагрузки, А.

Средняя нагрузка определяется по формуле:

$$I_{ср} = \frac{W_T}{\sqrt{3} \cdot U_{ср} \cdot T \cdot \cos\varphi}, \qquad (4)$$

где W_T - значение электроэнергии, переданное за базовый период T.

Порядок выполнения работы

1.Для заданной преподавателем схемы энергосистемы определить параметры линий.

2. По заданным данным произвести расчет потерь электроэнергии по методу оперативных расчетов.

3. Повторить расчет потерь электроэнергии по методу средних нагрузок.

4. Сравнить полученные результаты и сделать выводы.

Контрольные вопросы

1. Основные способы определения потерь электрической энергии.
2. Достоинства и недостатки метода оперативных расчетов.
3. Достоинства и недостатки метода средних нагрузок.
4. Способы повышения точности расчетов потерь электроэнергии.

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №6

ОЦЕНКА ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕРОПРИЯТИЙ ПО СНИЖЕНИЮ ПОТЕРЬ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

***Цель работы**: определение эффективности планируемых к внедрению мероприятий по снижению потерь электроэнергии .*

Краткие методические указания

В общем случае ожидаемое снижение потерь электроэнергии от внедрения мероприятия по снижению потерь электроэнергии будет равно:

$$\delta W_i = \delta W_{УДi} \cdot N_i \,, \qquad (1)$$

где $\delta W_{УДi}$ – удельный эффект в виде снижения нетехнических потерь электроэнергии, определенный по результатам ранее выполненного i-го мероприятия или их группы, кВт·ч/единиц объема мероприятия.

N_i – физический объем планируемого i-го мероприятия.

Следует отметить, что при таком подходе, по результатам выполнения мероприятий необходимо постоянно и своевременно проводить корректировку значения удельной эффективности, так как в случае успешной деятельности сетевой компании по снижению потерь электроэнергии удельная эффективность будет уменьшаться по мере приближения фактических потерь электроэнергии к технологическим.

Для оценки фактического эффекта от внедренных в исследуемом периоде мероприятий по снижению технических и нетехнических потерь электроэнергии определяется общее изменение фактических потерь электроэнергии ($\delta\Delta W^{(t)}_{ф}$) в исследуемом периоде (t) по отношению к фактическим потерям электроэнергии в предшествующем периоде (t-1).

Укрупнено изменение фактических потерь электроэнергии можно представить в виде формулы:

$$\delta\Delta W^{(t)}_{ф} = \delta\Delta W^{(t)}_{Т} + \delta\Delta W^{(t)}_{МПСТ} + \delta\Delta W^{(t)}_{МПС\ НТ} + \delta\Delta W^{(t}_{НТ}, \quad (2)$$

где $\delta\Delta W^{(t)}_{Т}$, $\delta\Delta W^{(t)}_{НТ}$ - изменение технических и нетехнических потерь электроэнергии в исследуемом периоде (t), соответственно, кВт·ч;

$\delta\Delta W^{(t)}_{МПСТ}$, $\delta\Delta W^{(t)}_{МПС\ НТ}$ - эффективность в виде изменения потерь электроэнергии от внедрения мероприятий по снижению технических и нетехнических потерь электроэнергии, соответственно, кВт·ч.

Эффективность в виде изменения потерь электроэнергии от внедрения мероприятий по снижению нетехнических потерь электроэнергии можно определить по формуле:

$$\delta\Delta W^{(t)}_{МПСНТ} = \delta\Delta W^{(t)}_{ф} - \delta\Delta W^{(t)}_{Т} - \delta\Delta W^{(t)}_{МПСТ} - \delta\Delta W^{(t)}_{НТ}, \quad (3)$$

Изменение фактических потерь определяется по формуле:

$$\delta\Delta W^{(t)}_{ф} = \delta\Delta W^{(t)}_{ф} - \delta\Delta W^{(t-1)}_{ф}, \quad (4)$$

где $\delta\Delta W^{(t-1)}_{ф}$, $\delta\Delta W^{(t)}_{ф}$ - абсолютное значение фактических потерь электроэнергии в предшествующем и исследуемом периодах, кВт·ч, соответственно.

Изменение фактических потерь электроэнергии, определенное по формуле (4), происходит не только в результате выполнения мероприятий по снижению потерь электроэнергии, но и под влиянием множества рассмотренных факторов, в том числе не зависящих от деятельности персонала сетевой компании. Это обязательно нужно учитывать при определении удельной эффективности мероприятий по снижению нетехнических потерь.

Этот подход к оценке фактического эффекта можно использовать при оценке фактической эффективности от внедрения различных мероприятий.

Полученное значение будет корректным в случае:

- если комплекс мероприятий был выполнен для всех потребителей, подключенных к обособленному участку электрической сети (например, для всех потребителей, подключенных к одной линии 0,38 кВ);

- отсутствовали другие мероприятия по снижению потерь электроэнергии;
- в соответствии с формулой (3) из эффекта исключены изменение технических и нетехнических потерь электроэнергии (в случае их наличия).

Порядок выполнения работы

1. Для предложенных преподавателем технологических установок спланировать мероприятия по экономии электроэнергии.
2. Определить новые значения потребления электроэнергии.
3. Рассчитать величины эффектов от снижения потребления электроэнергии.
4. Найти эффект от экономии электроэнергии в денежном выражении.

Контрольные вопросы

1. Основные мероприятия по экономии электроэнергии в промышленности.
2. Виды энергосберегающего оборудования.
3. Как рассчитать снижение потерь электроэнергии?
4. Как рассчитать экономический эффект от снижения потерь электроэнергии.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. ГОСТ 32144-2013. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. – М.: Стандартинформ, 2014. – 16 с.

2. ГОСТ 30804.4.30-2013. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Методы измерений показателей качества электрической энергии. – М.: Стандартинформ, 2014. – 52 с.

3. Сибикин, Ю. Д. Электроснабжение промышленных предприятий и установок [Электронный ресурс] : учебник / Ю. Д. Сибикин, М. Ю. Сибикин, В. А. Яшков. - М.|Берлин : Директ-Медиа, 2014. - 337 с.

4. Филиппова Т.А. Энергетические режимы электрических станций и электроэнергетических систем: учебник [Электронный ресурс] / Т.А. Филиппова. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2014. – 294с. Режим доступа - URL: https://biblioclub.ru/index.php?page=book_view_red& book_id=435976.

5. Железко, Ю.С. Потери электроэнергии. Реактивная мощность. Качество электроэнергии [Электронный ресурс]: руководство для практических расчетов / Ю.С. Железко. – Москва: ЭНАС, 2009. – 456 с.

6. Управление качеством электроэнергии [Текст] : учебное пособие : / И. И. Карташев, В. Н. Тульский, Р. Г. Шамонов ; под ред. Ю. В. Шарова. – М.: Издательский дом МЭИ, 2006. - 355 с.