

ПРИБОРОСТРОЕНИЕ, МЕТРОЛОГИЯ И ИНФОРМАЦИОННО- ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ

УДК 004.02:621:628.9

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДОВ И СРЕДСТВ ОЦЕНКИ ФЛИКЕРА ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ИСТОЧНИКОВ СВЕТА С РАЗНОЙ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬЮ К КОЛЕБАНИЯМ НАПРЯЖЕНИЯ В ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ

К.Е. Лисицкий

Братский государственный университет, г. Братск

lisitskiyke@gmail.com

Резюме: В статье рассмотрена проблема достоверной оценки фликера при использовании источников света с разной чувствительностью к колебаниям напряжения в электрической сети. Предложен подход к совершенствованию стандартных методов оценки фликера. Дано описание и результаты использования аппаратно-программного комплекса, позволяющего проводить исследования чувствительности источников света к колебаниям напряжения.

Ключевые слова: фликер, колебания напряжения, источники света, колебания светового потока, нормализованная частотная характеристика прибора.

*DOI:*10.30724/1998-9903-2018-20-5-6-55-66

IMPROVEMENT METHODS AND MEANS OF FLEAKER EVALUATION WHEN USING LIGHT SOURCES WITH DIFFERENT SENSITIVITY TO VOLTAGE FLUCTUATIONS IN THE ELECTRICAL NETWORK

K.E. Lisitskiy

Bratsk state university, Bratsk

lisitskiyke@gmail.com

Abstract: The article considers the problem of reliable evaluation of flicker in electrical networks. The technique for calculating the normalized frequency characteristics of the instrument for light sources with different sensitivity to voltage fluctuations is presented, which is aimed at improving the standard methods for estimating the flicker. A technique for the normalization of the flicker is

described on the basis of the data of the estimated estimation of the voltage fluctuations in the electric network.

Keywords: *flicker, voltage fluctuations, light sources, fluctuations in the light flux, normalized frequency response of the instrument.*

Введение

Одним из самых серьёзных последствий колебания напряжения (КН) в электрической сети являются изменения светового потока искусственных источников освещения, воспринимаемые человеком как мерцание света. В зарубежных и отечественных стандартах [1; 2] это явление называют «фликер». Фликер вызывает у человека утомление, в связи с чем возникает увеличение брака продукции и травматизма на производстве [3]. Именно поэтому в российских нормах качества электроэнергии [4] фликеру уделяется первостепенное внимание при оценке КН.

В отечественных нормативно-технических документах [1] представлены параметры КН в электрической сети, при которых у ламп накаливания мощностью 60 Вт возникает фликер. В последние годы широкое распространение получили лампы с отличающейся от ламп накаливания чувствительностью к КН [5÷7], что затрудняет их достоверную оценку методами, представленными в стандарте [8]. Недостоверная оценка фликера может приводить к проведению неэффективных мероприятий по нормализации фликера.

Нормы фликера

Оценка соответствия КН нормам качества электрической энергии осуществляется по значениям кратковременной дозы фликера P_{st} – меры фликера, оцениваемой в течение 10 мин., и длительной дозы фликера P_{lt} – меры фликера, оцениваемой в течение двух часов по последовательным значениям P_{st} .

В точках передачи электрической энергии пользователям величина P_{st} не должна превышать 1,38 о.е., величина P_{lt} не должна превышать 1 о.е [4]. В свою очередь, в точках общего присоединения потребителей электрической энергии с лампами накаливания в помещениях со значительным зрительным напряжением величина P_{st} не должна превышать 1 о.е., а величина P_{lt} не должна превышать 0,65 о.е [8]. Эти нормы используются для ограничения изменений напряжения, КН и фликера, вызываемых оборудованием, подключаемым к электрическим сетям низковольтных систем электроснабжения (СЭС) общего назначения и оказывающим негативное влияние на них.

Аналитические методы оценки фликера

Основой для оценки фликера является характеристика изменения напряжения на зажимах потребителя. При этом определяется разность напряжений ΔU между двумя последовательными значениями огибающей среднеквадратичных значений фазных напряжений в моменты времени t_1 и $t_2 - U(t_1)$ и $U(t_2)$ соответственно [3]:

$$\Delta U = U(t_1) - U(t_2). \quad (1)$$

В соответствии со стандартом [8] уровень КН характеризуется амплитудой относительных изменений напряжения d , которую определяют по следующему выражению:

$$d = \frac{U(t_1) - U(t_2)}{U_{\text{ном}}} \cdot 100\%, \quad (2)$$

где $U_{\text{ном}}$ – номинальное напряжение электрической сети, В.

В рекомендациях по контролю гармоник в электроэнергетических системах [9], рекомендациях по производству и распределению электроэнергии на промышленных

предприятиях [10] и нормах качества электрической энергии в электрических сетях общего назначения [11] представлены параметры кривой допустимых КН (рис. 1): значения амплитуды относительных изменений напряжения $d_{P_{st}=1}$, соответствующие порогу восприятия фликера в зависимости от частоты изменений напряжения r . Кривая допустимых КН, полученная при использовании ламп накаливания мощностью 60 Вт, соответствует изменениям напряжения прямоугольной формы.

В соответствии с ГОСТ [12] порог восприятия фликера – это минимальная величина изменения яркости световых источников, приводящая к ощущаемости мерцаний. Ему соответствует уровень $P_{st}=1$ о.е.

Все известные аналитические методы оценки фликера основаны на использовании кривой допустимых КН. Они предполагают определение амплитуды относительных изменений напряжения d_o для КН прямоугольной формы, при которых наблюдаются такие же уровни фликера, что и при КН различной формы.

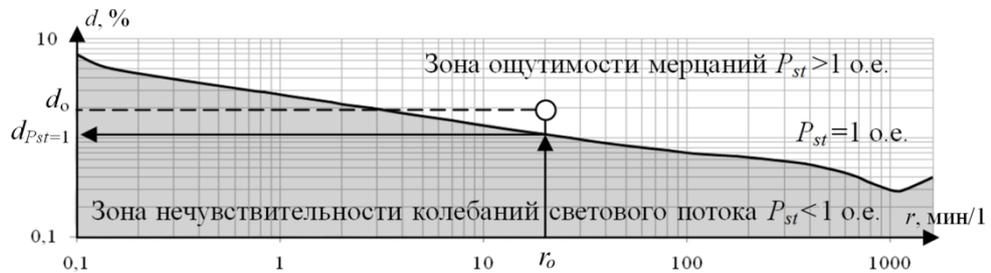


Рис. 1. Кривая допустимых КН

Если повторяющиеся прямоугольные КН происходят с частотой r_o и амплитудой d_o , то значение P_{st} определяют как

$$P_{st} = \frac{d_o(r_o)}{d_{P_{st}=1}(r_o)}, \quad (3)$$

где $d_{P_{st}=1}$ – амплитуда относительных изменений напряжения, соответствующая ординате кривой допустимых КН.

Для расчета P_{st} при повторяющихся КН формы, отличной от прямоугольных, используют следующую зависимость [3]:

$$P_{st} = 0,365 \cdot d \cdot F \cdot r^{0,31}, \quad (4)$$

где F – коэффициент эквивалентности, зависящий от формы КН, о.е.

Прямоугольные КН имеют коэффициент эквивалентности $F=1$ о.е. Для КН другой формы $F < 1$ о.е. Графики для определения значений F при КН различной формы представлены в стандарте [8].

Для оценки фликера в узлах сетей с источником КН, имеющим известное значение P_{st} , можно воспользоваться методом коэффициента распределения напряжения [13]. Данный подход предполагает, что элементы электрической сети имеют преимущественно индуктивный характер. Поэтому форма изменений напряжения в узлах высокого и низкого напряжения с высокой точностью соответствует форме изменений напряжения источника. Наличие конденсаторных батарей в составе нагрузок значительно снижает точность оценки фликера. По этой причине область применения метода ограничивается расчетом уровней фликера на этапе проектирования электрической сети.

В работе [14], объектами исследований которой являются СЭС деревообрабатывающих производств, для оценки фликера предлагается использовать график электрических нагрузок, получение которого требует длительных измерений активной и реактивной мощностей нагрузки электродвигателей и статистического анализа

результатов измерений. Определенные в результате статистического анализа значения d используются в дальнейшем для расчета значений P_{st} .

Однако такой подход к оценке фликера достаточно трудоёмкий. Область его применения весьма узкая. Предложенная методика не может быть использована при КН, имеющих случайный характер, например в СЭС литейного производства с дуговыми сталеплавильными печами и т.д.

Метод непосредственных измерений P_{st}

Основным подходом к оценке фликера является метод непосредственных измерений P_{st} с помощью фликерметров [3]. Функциональные и конструктивные требования к ним представлены в стандарте [1].

Известны два способа реализации фликерметров: на аналоговых элементах и с применением цифровой элементарной базы. В настоящее время основной концепцией при создании фликерметров является использование микроконтроллеров, способных на практике реализовать любой математический аппарат.

Процесс зрительного восприятия фликера моделируется на основе теории прохождения сложного сигнала через нелинейную динамическую систему [3].

В 1986 г. Международный союз по использованию электрической энергии совместно с Международной электротехнической комиссией предложили функциональную схему фликерметра [15]. Эта схема используется и в действующем отечественном стандарте [1]. В соответствии с ней фликерметр состоит из пяти последовательно включенных блоков: 1) адаптера входного напряжения; 2) квадратичного умножителя; 3) взвешивающих фильтров; 4) блока квадратичной обработки и сглаживания; 5) блока статистического анализа. Восприятие фликера при подаче КН на лампу моделируется нелинейной характеристикой, обеспечиваемой блоками 1÷4. Сигнал на выходе блока 4 представляет собой мгновенное значение фликера P_{inst} . Блок 5 осуществляет анализ уровня фликера для расчета значений P_{st} и P_{lt} .

Обобщенная частотная характеристика блоков 1÷4 в стандарте [1] называется «нормализованная частотная характеристика прибора» (НЧХП). Она является аналогом кривой допустимых КН и представлена в табличной форме – в виде значений частоты возникновения КН $f_{кн}$ и соответствующих им значений зависимости d , при которых $P_{inst}=1$ о.е. (рис.2). В общем случае НЧХП используется для калибровки фликерметров.

Следует отметить, что НЧХП, представленная в стандарте [1], получена для применения ламп накаливания мощностью 60 Вт.

Проблема достоверной оценки фликера осложняется тем, что в настоящее время широкое распространение получили источники света, имеющие иной принцип действия, по сравнению с лампами накаливания. Это отличие обуславливает разницу в чувствительности таких источников света к КН в электрической сети [16].



Рис. 2. Графическая интерпретация НЧХП

На рис. 3 показан график измеренного светового потока различных источников света при КН одного уровня. Из него видно, что при одних и тех же КН у различных источников света наблюдаются разные колебания светового потока. У более чувствительных к КН, по сравнению с лампами накаливания, источников света, таких как люминесцентные лампы, колебания светового потока значительнее. Поэтому при одинаковых КН у люминесцентных ламп наблюдается больший, по сравнению с лампами накаливания, уровень фликера. И наоборот, при использовании компактных люминесцентных, индукционных и светодиодных ламп колебания светового потока будут меньше, по сравнению со случаем использования ламп накаливания. Следовательно, уровень фликера таких источников света будет меньшим. Однако известные в настоящее время аналитические методы и метод непосредственных измерений P_{st} данное положение не учитывают. В этой связи необходимо их совершенствование.

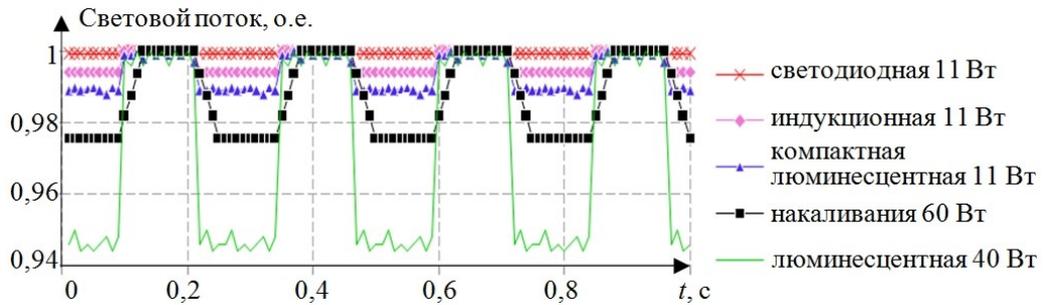


Рис. 3. График измеренного светового потока различных источников света при КН одного уровня

Метод расчета НЧХП

Для совершенствования известных методов необходимо выполнять сопоставление изменений светового потока применяемых источников света с КН в электрической сети.

Повторяющиеся КН могут быть описаны с помощью амплитуды относительных изменений напряжения следующим выражением:

$$d = \frac{\Delta U}{U} \cdot 100\% = \frac{U_{\max} - U_{\min}}{U} \cdot 100\%, \quad (5)$$

где ΔU – изменения установившегося напряжения, В; U_{\max} и U_{\min} – наибольшее и наименьшее значения напряжения за период КН, В; U – действующее значение напряжения, В.

На рис. 4 показан график КН в электрической сети, по которому можно определить d .

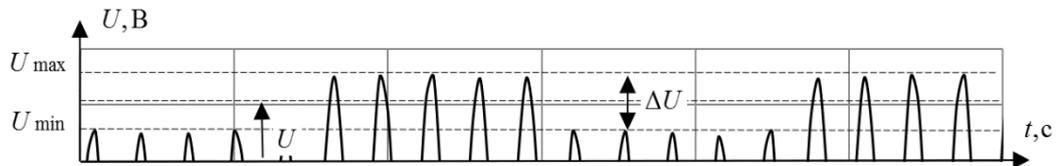


Рис. 4. График КН в электрической сети

Повторяющиеся изменения светового потока могут описываться с помощью коэффициента пульсации освещенности $K_{п}$ по следующему выражению:

$$K_{п} = \frac{E_{\max} - E_{\min}}{2 \cdot E_{\text{ср}}} \cdot 100\%, \quad (6)$$

где E_{\max} и E_{\min} – наибольшее и наименьшее значения освещенности за период повторения колебаний светового потока, лк; $E_{\text{ср}}$ – среднее значение освещенности, лк.

На рис. 5 показан график колебаний светового потока лампы накаливания, по которому можно определить K_{Π} .

Аналитически связь колебаний светового потока источников освещения с КН может быть представлена выражением

$$K_{\Pi} = H(d, f_{\text{кн}}). \quad (7)$$

Выражение вида (7) использовано в методе расчета НЧХП.

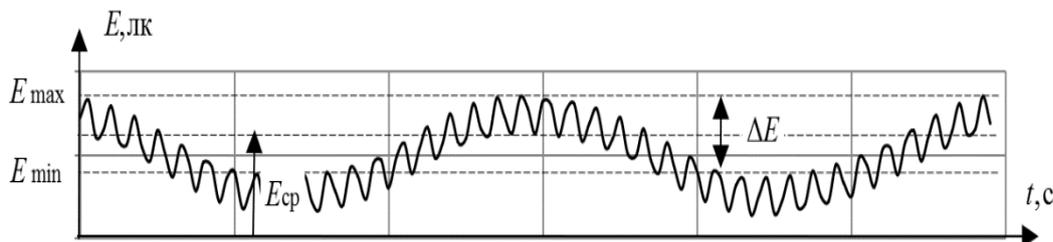


Рис.5. График колебаний светового потока лампы накаливания

Разработанный метод расчета НЧХП предполагает процедуры, выполняемые в следующем порядке.

1. Измерение параметров кривой допустимых колебаний светового потока.

Реализация этого пункта требует использования аппаратного обеспечения, позволяющего производить регистрацию изменений светового потока ламп при заданных параметрах питающего их напряжения.

У ламп накаливания мощностью 60 Вт с помощью аппаратного обеспечения при соответствующих стандартной НЧХП заданных параметрах КН проводится измерение значений K_{Π} .

2. Аналитическое описание функции связи колебаний светового потока лампы накаливания мощностью 60 Вт с КН в цепи её питания, $K_{\Pi} = H_{\text{лн}}(d, f_{\text{кн}})$.

Данные КН и соответствующих им колебаний светового потока ламп накаливания мощностью 60 Вт приводятся к виду (7) средством *Basic Fitting* прикладного пакета программ *MatLab*.

3. Определение допустимых КН при использовании источников света с разной чувствительностью к колебаниям напряжения.

С помощью специального аппаратного обеспечения путем подбора происходит определение уровня КН, при котором у исследуемого источника света возникают изменения светового потока, соответствующие кривой, представленной на рис. 6.

4. Аналитическое описание функции связи колебаний светового потока исследуемого источника света с КН в цепи его питания, $K_{\Pi} = H_{\text{лн}}(d, f_{\text{кн}})$. По аналогии с п. 2 данного метода используется *Basic Fitting* прикладного пакета программ *MatLab*.

5. Расчет параметров КН, при которых у лампы накаливания мощностью 60 Вт наблюдаются такие же колебания светового потока, что и у исследуемого источника света, амплитуд относительных изменений напряжения, эквивалентных колебаниям светового потока:

$$d_{\text{лн}}^{\text{ЭКВ}} = d \cdot \frac{H_{\text{л}}(d, f_{\text{кн}})}{H_{\text{лн}}(d, f_{\text{кн}})}. \quad (8)$$

6. Определение поправочного коэффициента $p^{\text{л}}(f_{\text{кн}})$.

Величины $p^{\text{л}}(f_{\text{кн}})$ определяются по выражению

$$p^{\text{л}}(f_{\text{кн}}) = \frac{d_{\text{лн}}^{\text{ЭКВ}}(f_{\text{кн}})}{d(f_{\text{кн}})}. \quad (9)$$

7. Расчет параметров НЧХП для исследуемого источника света.

Параметры НЧХП для исследуемого источника света рассчитываются по следующему выражению:

$$d_{P_{st}=1}^{лн}(f_{кн}) = \frac{d_{P_{st}=1}^{лн}(f_{кн})}{p^{лн}(f_{кн})}, \quad (10)$$

где $d_{P_{st}=1}^{лн}(f_{кн})$ – амплитуда относительных изменений напряжения, соответствующая стандартной НЧХП.

Параметры НЧХП при частотах КН, представленных в ГОСТ [1], могут быть измерены. Для этого с помощью аппаратного обеспечения и исследуемого источника света выполняется поиск значений d , соответствующих значениям $K_{п}$ кривой допустимых колебаний светового потока.

Для оценки фликера во всем диапазоне частот его восприятия необходимо выполнение всех пунктов представленного метода.

Совершенствование средств оценки фликера

Для достоверной расчетной оценки фликера достаточно использовать поправочный коэффициент, полученный по выражению (9), и значение P_{st} , полученное известными расчетными методами:

$$P_{st}^{лн} = p^{лн}(f_{кн}) \cdot P_{st}. \quad (11)$$

В свою очередь, усовершенствование стандартной модели фликерметра может быть выполнено двумя способами:

- аналитическим описанием системы «лампа – глаз – мозг человека», соответствующей применяемым источникам света;
- введением блока поправки в структурную модель фликерметра.

Второй вариант удобнее, потому что его реализация предполагает выполнение простейших математических операций, например, с помощью недорогих микроконтроллеров.

При усовершенствовании стандартной модели фликерметра посредством введения в неё блока поправки должны использоваться НЧХП, рассчитанные по методике расчета НЧХП.

На рис. 6 показана структурная схема фликерметра, учитывающая чувствительность к КН применяемых источников света.

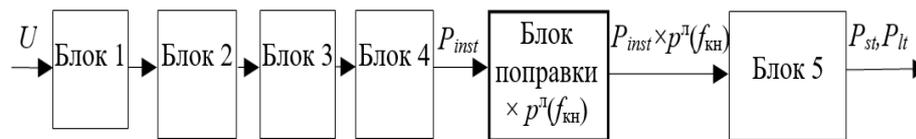


Рис. 6. Усовершенствованная модель фликерметра

В соответствии с чувствительностью к КН используемых источников света блоком поправки осуществляется умножение P_{inst} на поправочные коэффициенты, которые в реальном времени рассчитываются как

$$p^{лн}(f_{кн}) = \frac{d_{лн}(f_{кн})}{d_{лн}^{ст}(f_{кн})}, \quad (12)$$

где $d_{лн}(f_{кн})$ – амплитуда относительных изменений напряжения НЧХП для применяемого источника света, %; $d_{лн}^{ст}(f_{кн})$ – амплитуда относительных изменений напряжения стандартной НЧХП.

Практическая реализация методики расчета НЧХП

Для реализации методики расчета НЧХП в Братском государственном университете был создан аппаратно-программный комплекс (АПК), позволяющий производить регистрацию изменений светового потока источников света при заданных параметрах КН в цепи их питания [17; 18].

Наглядно принцип работы АПК показан на рис. 7. Управляемый источник питания (блок 4) управляется сигналом с канала цифро-аналогового преобразователя (ЦАП) платы ввода-вывода (блок 9), который, в свою очередь, связан с блоком, задающим параметры КН (блок 13). Величина светового потока исследуемой лампы анализируется фотоприёмником (блок 2), сигнал с которого усиливается в блоке 3. После этого усиленный сигнал поступает в аналогово-цифровой преобразователь (АЦП) канала светового потока (блок 8). Одновременно сигнал с блока 4 проходит через входной преобразователь напряжения (блок 7) и поступает в АЦП канала напряжения сети (блок 10). Далее цифровые сигналы из каналов напряжения (блок 10) и светового потока (блок 8) поступают в блок 12 для записи.



Рис. 7. Блок-схема аппаратно-программного комплекса

В цепи, питающей исследуемую лампу (блок 1), имеется входной преобразователь тока (блок 5), сигнал с которого поступает в соответствующий канал АЦП платы ввода-вывода *PCI L-783M* (блок 11) для обеспечения функции защиты АПК от перегрузки.

В качестве исследуемых образцов были выбраны источники света, широко используемые в офисных, общественных и бытовых помещениях.

В ходе реализации методики получена кривая допустимых колебаний светового потока (рис. 8) и выполнено аналитическое описание функциональной связи колебаний светового потока с КН для исследуемых источников света (табл. 1).

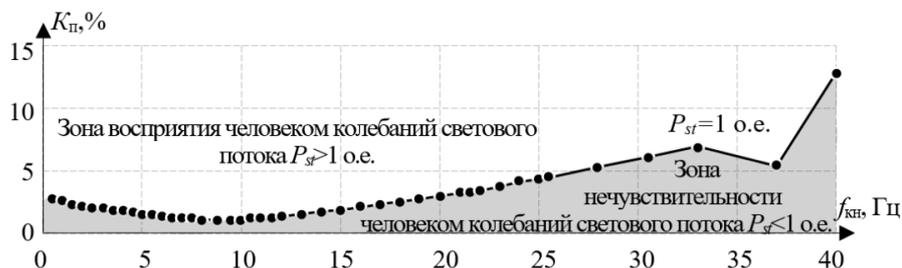


Рис. 8. Кривая допустимых колебаний светового потока

В ходе анализа результатов измерений, выполненных с помощью АПК, у ламп накаливания мощностью 60 Вт выявлена близкая к линейной зависимость между величинами K_n и d , а также между величинами K_n и $f_{кн}$. Поэтому функция связи вида (4) может быть представлена выражением

$$K_n = d \cdot (A + B \cdot f_{кн}), \quad (13)$$

где A – коэффициент полинома, о.е.; B – коэффициент полинома, Гц⁻¹.

У источников света, имеющих отличный от ламп накаливания принцип действия, в процессе анализа результатов измерений, выполненных с помощью аппаратно-программного комплекса, зависимость между K_n и $f_{кн}$ не выявлена. Также в ходе анализа выявлена зависимость между K_n и d . Поэтому функцию связи колебаний светового потока таких ламп с колебаниями напряжения в цепи их питания можно описать выражением следующего вида:

$$K_n = A \cdot d, \quad (14)$$

где A – коэффициент, о.е.

Для определения коэффициентов полинома в выражении (13) и коэффициента в выражении (14) использовалась линейная аппроксимация и применялся инструмент *Curve Fitting Tool* прикладного пакета *MatLab*.

В аналитическом виде функции зависимости колебаний светового потока ламп от колебаний напряжения в цепи их питания представлены в табл. 1.

Таблица 1

Исследуемый источник света	$K_n = H(d, f_{кн})$
Накаливания 60 Вт	$(5,568 - 0,0016 \cdot f_{кн}) \cdot d$
Люминесцентная 40 Вт	$11 \cdot d$
Компактная люминесцентная 40 Вт	$2,022 \cdot d$
Индукционная 15 Вт	$1,134 \cdot d$
Светодиодная лампа 11 Вт	$0,1606 \cdot d$

Результатом предложенной методики являются рассчитанные НЧХП. Их графическая интерпретация показана на рис. 9.

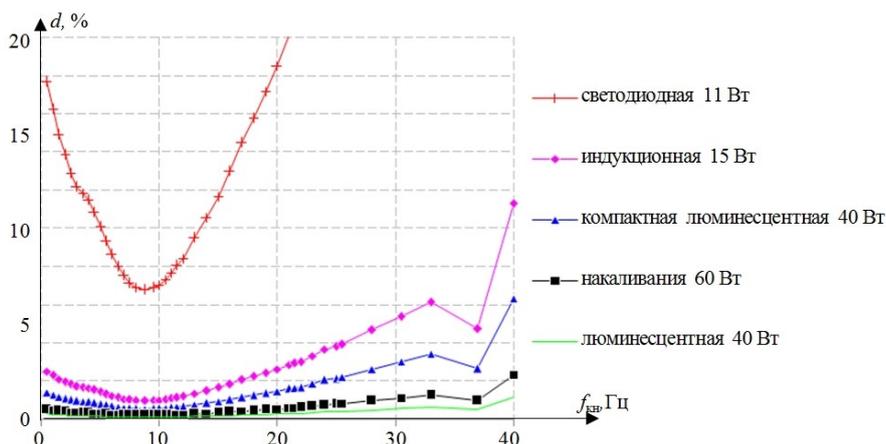


Рис. 9. Графическая интерпретация рассчитанных НЧХП

Из рис. 9 видно, что при одинаковых КН у люминесцентной лампы уровень фликера будет больше, чем у ламп накаливания. С другой стороны, оставшиеся источники света характеризуются меньшими уровнями фликера по сравнению с лампами накаливания.

В табл. 2. приведены наибольшие значения методической погрешности, возникающей при оценке фликера по известным в настоящее время методам, при использовании источников света с отличающейся от ламп накаливания мощностью 60 Вт чувствительностью к КН.

Величина методической погрешности определена по выражению

$$Err = \frac{P_{st}^{II} - P_{st}}{P_{st}^{II}} \cdot 100\% , \quad (15)$$

где P_{st}^{II} – фактическое значение кратковременной дозы фликера применяемых источников света, о.е.; P_{st} – кратковременная доза фликера, определенная стандартными методами, о.е.

Таблица 2

Методическая погрешность оценки фликера

Образец источника света	P_{st} , о.е.	P_{st}^{II} , о.е.	Err , %
Светодиодная 11 Вт	1	0,0289	-3360
Индукционная 15 Вт		0,2042	-389,71
Компактная люминесцентная 40 Вт		0,3641	-174,65
Люминесцентная 40 Вт		1,9806	49,51

Из табл. 2 видно, что использование стандартных методов приводит к завышению результатов оценки фликера люминесцентных ламп мощностью 40 Вт почти в 2 раза, завышению результатов оценки фликера компактных люминесцентных ламп мощностью 40 Вт, индукционных ламп мощностью 15 Вт, светодиодных ламп мощностью 11 Вт – почти в 2, 4, и более чем в 30 раз, соответственно.

Заключение

1. Обзор существующих методов оценки фликера показал их пригодность только в случае, когда для освещения используются лампы накаливания мощностью 60 Вт. При использовании источников света с отличающейся чувствительностью к КН такие методы дают недостоверные результаты оценки.

2. Совершенствование методов оценки фликера может выполняться путем сопоставления фактических изменений светового потока с КН в электрической сети. Реализация предложенной методики расчета НЧХП выполнена с использованием АПК.

3. Усовершенствование стандартной модели фликерметра осуществляется введением в её структурную модель блока поправки, который, в зависимости от чувствительности к КН применяемых источников света, корректирует значения мгновенной дозы фликера.

4. Кривая допустимых колебаний светового потока, полученная при реализации метода расчета НЧХП, должна использоваться при определении параметров НЧХП источников света с различной чувствительностью к КН в электрической сети.

5. Рассчитанные НЧХП являются частными случаями для исследуемых образцов источников света. Для достоверной оценки фликера других источников света необходима реализация метода расчета НЧХП.

6. Усовершенствованные методы и средства оценки фликера позволяют выполнять достоверную оценку фликера на этапах проектирования и эксплуатации электрических сетей.

Литература

1. ГОСТ 51317.4.15–2012. (МЭК 61000.4.15:2010). Совместимость технических средств электромагнитная. Фликерметр. Функциональные и конструктивные требования. М.: Стандартинформ, 2014.

2. IEEE Std 1453–2015. IEEE Recommended Practice for the Analysis of Fluctuating Installations on Power Systems. NY.: IEEE. 2015.
3. Жежеленко И.В., Саенко Ю.Л. Качество электроэнергии на промышленных предприятиях. М.: Энергоатомиздат, 2005. 261 с.
4. ГОСТ 32144–2013. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. М.: Стандартинформ, 2014.
5. Ташмаматов А.С., Нарынбаев А.Ф. Энергосберегающие лампы: плюсы и минусы // Известия Кыргызского государственного технического университета им. И. Раззакова. 2016. Т. 38. С. 136–141.
6. Сапрыка А.В., Черенков А.Д. Анализ работы современных энергосберегающих ламп // Энергосбережение. Энергетика. Энергоаудит. 2015. № 3 (134). С. 32–34.
7. Денисова Н.В., Шляпченко А.А. Исследование электрических параметров компактных люминесцентных ламп // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2011. № 5–6. С. 91–95.
8. ГОСТ 30804.3.3–2013. Совместимость технических средств электромагнитная. Ограничение изменений напряжения, колебаний напряжения и фликера в низковольтных системах электроснабжения общего назначения. Технические средства с потребляемым током не более 16 А (в одной фазе), подключаемые к электрической сети при несоблюдении определенных условий подключения. Нормы и методы испытаний. М.: Стандартинформ, 2014.
9. IEEE Std 519–1992. IEEE Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electrical Power Systems. NY.: IEEE. 1993.
10. IEEE Std 141–1969. IEEE Recommended Practice for Electric Power Distribution for Industrial Plants. NY.: IEEE. 1969.
11. ГОСТ 13109–97. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. М.: ИПК Изд-во стандартов. 1998.
12. ГОСТ Р 50397-2011 (МЭК 60050-161:1990). Совместимость технических средств электромагнитная. Термины и определения. М.: Стандартинформ. 2013.
13. Новоселов Н.А., Николаев А.А., Корнилов Г.П. Методика расчета кратковременной дозы фликера в сетях с дуговыми сталеплавильными печами // Промышленная энергетика. 2014. № 1. С. 27–31.
14. Калина Е.А., Черепанов В.В. Расчет колебаний напряжения электрической сети при работе асинхронных двигателей с резкопеременной нагрузкой // Электротехнические системы и комплексы. 2016. № 3 (32). С. 20–26.
15. IEC–868. Flicker meter. Functional and design specifications. 1986.
16. Лисицкий К.Е. Совершенствование метода оценки фликера // Системные исследования в энергетике. Труды молодых ученых ИСЭМ СО РАН. Вып.44. Иркутск: ИСЭМ СО РАН, 2014. С. 50–55.
17. Аппаратный комплекс для определения передаточных функций искусственных источников света при оценке дозы фликера: пат. 119892 Рос. Федерация: МПК G 01 R 23/00/ Лисицкий К.Е., Струмеляк А.В.; заявитель и правообладатель Братск, ФГБОУ ВПО «БрГУ». № 2011149905; заявл. 07.12.11, опубл. 27.08.12, Бюл. № 24.
18. Лисицкий К.Е., Струмеляк А.В. Усовершенствование стандартной модели фликерметра для оценки дозы фликера в сетях общего назначения // Технологии ЭМС. 2014. № 1 (48). С. 11–16.

Автор публикации

Лисицкий Константин Евгеньевич – канд. тех. наук, старший преподаватель кафедры «Электроэнергетика и электротехника» Братского государственного университета. E-mail: lisitskiyke@gmail.com.

References

1. GOST 51317.4.15–2012. (MEK 61000.4.15:2010). Sovmestimost' tekhnicheskikh sredstv elektromagnitnaya. Flikermetr. Funktsional'nye i konstruktivnye trebovaniya. M.: Standartinform, 2014.

2. IEEE Std 1453–2015. IEEE Recommended Practice for the Analysis of Fluctuating Installation on Power Systems. NY.: IEEE. 2015.
3. Zhezhel'enko I.V., Saenko Yu.L. Kachestvo elektroenergii na promyshlennykh predpriyatiyakh. M.: Energoatomizdat, 2005. 261 p.
4. GOST 32144–2013. Normy kachestva elektricheskoy energii v sistemakh elektrosnabzheniya obshchego naznacheniya. M.: Standartinform, 2014.
5. Tashmamatov A.S., Narynbaev A.F. Energoberegayushchie lampy: plyusy i minusy. Izvestiya Kyrgyzskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. I. Razzakova. 2016. Vol. 38. P. 136–141.
6. Sapryka A.V., Cherenkov A.D. Analiz raboty sovremennykh energoberegayushchikh lamp. Energoberezhenie. Energetika. Energoaudit. 2015. No. 3 (134). P. 32–34.
7. Denisova N.V., Shlyapchenkov A.A. Issledovanie elektricheskikh parametrov kompaktnykh lyuminescentnykh lamp // Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Problemy energetiki. 2011. No. 5–6. P. 91–95.
8. GOST 30804.3.3–2013. Sovmestimost' tekhnicheskikh sredstv elektromagnitnaya. Ogranichenie izmeneniy napryazheniya, kolebaniy napryazheniya i flikera v nizkovol'tnykh sistemakh elektrosnabzheniya obshchego naznacheniya. Tekhnicheskie sredstva s potrebyaemym tokom ne bolee 16 A (v odnoy faze), podklyuchaemye k elektricheskoy seti pri nesoblyudenii opredelennykh usloviy podklyucheniya. Normy i metody ispytaniy. M.: Standartinform, 2014.
9. IEEE Std 519–1992. IEEE Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electrical Power Systems. NY.: IEEE. 1993.
10. IEEE Std 141–1969. IEEE Recommended Practice for Electric Power Distribution for Industrial Plants. NY.: IEEE. 1969.
11. GOST 13109–97. Normy kachestva elektricheskoy energii v sistemakh elektrosnabzheniya obshchego naznacheniya. M.: IPK Izd-vo standartov. 1998.
12. GOST R 50397-2011 (MEK 60050-161:1990). Sovmestimost' tekhnicheskikh sredstv elektromagnitnaya. Terminy i opredeleniya. M.: Standartinform. 2013.
13. Novoselov N.A., Nikolaev A.A., Kornilov G.P. Metodika rascheta kratkovremennoy dozy flikera v setyakh s dugovymi staleplavil'nymi pechami. Promyshlennaya energetika. 2014. No. 1. P. 27–31.
14. Kalina E.A., Cherepanov V.V. Raschet kolebaniy napryazheniya elektricheskoy seti pri rabote asinkhronnykh dvigateley s rezkoperemennoy nagruzkoj. Elektrotekhnicheskie sistemy i kompleksy. 2016. No. 3 (32). P. 20–26.
15. IEC–868. Flickermeter. Functional and design specifications. 1986.
16. Lisitskiy K.E. Sovershenstvovanie metoda otsenki flikera. Sistemnye issledovaniya v energetike. Trudy molodykh uchenykh ISEM SO RAN. Vyp.44. Irkutsk: ISEM SO RAN, 2014. P. 50–55.
17. Apparatnyy kompleks dlya opredeleniya peredatochnykh funktsiy iskusstvennykh istochnikov sveta pri otsenke dozy flikera: pat. 119892 Ros. Federatsiya: MPK G 01 R 23/00. Lisitskiy K.E., Strumelyak A.V.; zayavitel' i pravoobladatel' Bratsk, FGBOU VPO "BrGU". No. 2011149905; zayavl. 07.12.11, opubl. 27.08.12, Byul. No. 24.
18. Lisitskiy K.E., Strumelyak A.V. Usovershenstvovanie standartnoy modeli flikermetra dlya otsenki dozy flikera v setyakh obshchego naznacheniya. Tekhnologii EMS. 2014. No. 1 (48). P. 11–16.

Author of the publication

Lisitskiy Konstantin Evgenjevich – Cand. of Engineering Sciences, senior lecturer of the department "Electricity and electrical engineering" of Bratsk state university". E-mail: lisitskiyke@gmail.com.

Поступила в редакцию

24 ноября 2017 г.