

Корнилов Г.П.¹, Баранкова И.И.¹, Лукьянов Г.И.¹, Карякин А.Л.²

¹ Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова

² Уральский государственный горный университет, г. Екатеринбург

РАСЧЕТ КРАТКОВРЕМЕННОЙ ДОЗЫ ФЛИКЕРА В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Качество электрической энергии является составляющей электромагнитной совместимости и определяется совокупностью характеристик. Снижение качества электрической энергии приводит к причинению вреда электрооборудованию, повышает энергоемкость технологических процессов и воздействует на здоровье людей. Для предотвращения таких последствий необходимо проведение методических, технических и организационных мероприятий. Одним из показателей качества электрической энергии в соответствии с ГОСТ 32144-2013 является фликер. При этом доза фликера является наиболее сложным показателем качества электроэнергии с точки зрения вычисления. Существует отдельный государственный стандарт, в котором приведено описание структуры фликерметра, рассмотрены технические требования и методы испытания данного прибора. В статье проведен сравнительный анализ программно-аппаратных решений по оценке доз фликера на рынке РФ. Представлено разработанное программное обеспечение «Flicker» для расчета кратковременной дозы фликера и представлены основные модули работы программы. Рассмотрен алгоритм расчета по характеристикам дуговой сталеплавильной печи, позволяющий определить кратковременную дозу фликера на этапе проектирования электротехнического комплекса. Рассмотрен алгоритм ПО «Flicker» и методика расчета мгновенной и кратковременной дозы фликера по базе данных мгновенных напряжений. Представлен модуль визуального представления изменения напряжения и мгновенной дозы фликера в виде масштабируемых графиков. Дан анализ полученных результатов расчета, полученных с помощью разработанного ПО.

Ключевые слова: качество электроэнергии, колебания напряжения, фликер, мгновенная доза фликера, кратковременная доза фликера, взвешивающие фильтры, программное обеспечение «Flicker».

ВВЕДЕНИЕ

Электрическая энергия является одним из основных компонентов, необходимых для процесса производства. Качество электроэнергии оказывает значительное влияние на технико-экономические характеристики и надежность работы электрооборудования. Показатели, характеризующие качество электрической энергии, выходя за допустимые пределы в совокупности с другими факторами, приводят к экономическим потерям из-за неоптимальной работы электроприемников и увеличению брака продукции. Для оценки качества электроэнергии на территории РФ был разработан новый стандарт – ГОСТ Р 32144-13 «Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения», который вступил в силу с 1 мая 2014 года [1-3].

На данный момент рынок РФ представлен большим количеством анализаторов показателей качества электроэнергии, отечественных и зарубежных производителей с большим диапазоном стоимости и технических показателей. В статье рассмотрено сравнение этих анализаторов и представлен разработанный анализатор показателей фликера.

СРАВНЕНИЕ АНАЛИЗАТОРОВ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

Принцип действия анализаторов качества электроэнергии (АКЭ) основан на вычислении значений измеряемых параметров путем аналого-цифрового преобразования массива мгновенных значений входных сигналов напряжения и тока. На сегодняшний день на рынке представлен широкий спектр таких приборов, которые разделяются на стационарные и переносные [3-6].

Для АКЭ, обеспечивающих проведение обследова-

ний и оценки качества электрической энергии в соответствии с ГОСТ 30804.4.30-2013, существуют следующие классы точности:

«А» («advanced» – «повышенного типа»);

«S» («survey» – «для наблюдений»);

«В» («basic» – «начальный»).

Правильная оценка величин отдельных гармоник критична как для рынка, так и с технической точки зрения, поэтому очень важно иметь инструменты для достоверных измерений [7, 8]. Задача может быть решена при использовании анализаторов качества электроэнергии класса «А» [9, 10]. Поэтому для сравнительного анализа будем рассматривать приборы класса «А», как отечественного производства, так и зарубежного исполнения [11-14]. В **таблице** ниже представлено сравнение АКЭ, представленных на рынке.

Для рассмотрения взяты АКЭ фирм Sonel, Fluke Industrial и ООО «НПП Прорыв». Проведенный анализ показал, что АКЭ первых двух производителей имеют высокую стоимость, АКЭ PQM-702 ограничен комплект поставки, а у FLUKE 435 II отсутствует первичная поверка, что, в свою очередь, повышает их базовую стоимость. В сравнении с ними Прорыв Т-АКТ800 имеет стоимость ниже, но конструктивные особенности, такие как металлический корпус, объем памяти и отсутствие дисплея, снижают удобство использования.

Проведенный анализ показал, что устройства представленные на рынке, имеют ряд своих недостатков, главным среди которых является цена. Поэтому предложено разработать программный продукт, позволяющий проводить измерение фликера в соответствии с требованиями нормативных документов, как в условиях эксплуатации действующего оборудования, так и на стадии проектирования, с минимальными затратами.

Анализаторы качества электроэнергии

№ п/п	Производитель	Модель	Стоимость (руб)	Преимущества	Недостатки
1	Sonel, Польша	PQM-702	> 328000	1. защита корпуса IP65; 2. возможна установка непосредственно на ЛЭП; 3. наличие внутреннего аккумулятора; 4. наличие первичной поверки; 5. диапазон рабочих температур; 6. синхронизация времени; 7. соответствие классу «А»	1. отсутствие полноценного дисплея; 2. большой размер корпуса; 3. токовые клещи приобретаются отдельно; 4. высокая стоимость
2	Fluke Industrial, США	FLUKE 435 II	>455000	1. высокая точность измерений; 2. высокое качество комплектующих; 3. синхронизация времени; 4. соответствие классу «А»	1. отсутствие первичной поверки; 2. диапазон рабочих температур; 3. высокая стоимость
3	ООО «НПП Прорыв», Россия	Прорыв Т-А-КТ800	>122000	1. наличие первичной поверки; 2. диапазон рабочих температур; 3. масса-габаритные показатели; 4. синхронизация времени; 5. соответствие классу «А»; 6. стоимость	1. отсутствие дисплея; 2. металлический корпус; 3. необходимо наличие ПК для задания параметров измерений; 4. упрощенный интерфейс ПО; 5. ограничение по памяти

АНАЛИЗАТОР ПОКАЗАТЕЛЕЙ ФЛИКЕРА «FLICKER»

Анализатор качества электроэнергии, а именно показателей фликера «Flicker» разработан на базе лабораторий «МГТУ им. Г.И. Носова». Пользовательский интерфейс представлен на рис. 1.

Для оценки кратковременной дозы фликера на стадии проектирования электросети предприятия данный программный продукт имеет вкладку «Мат. модель». В основу алгоритма работы этой вкладки заложена методика, разработанная Новоселовым Н.А., Николаевым А.А и Корниловым Г.П. [5]. Суть данной методики заключается в определении плотности распределения вероятности колебаний напряжения по исходным данным установки дуговой сталеплавильной печи (ДСП), таких как сопротивление системы, номинальное напряжение, мощность печного трансформатора и номинальный ток печи. Как заявлено авторами, данный метод расчета имеет максимальную погрешность 2,7%, что доказывает достаточную точность и возможность использования для оценки кратковременной дозы фликера. Стоит отметить, что, как видно на рис. 1, для расчета необходимы такие параметры, как временной интервал и требуемое количество значений. Из определения кратковременной дозы фликера первый параметр по умолчанию задается равным 10 мин, а рекомендуемое количество значений равно 6000. На рис. 2 представлен результат работы вкладки «Мат. модель» разработанного ПО.

Данный расчет фликера не позволяет произвести оценку на введенном в эксплуатацию и функционирующем объекте. Для такого случая предусмотрена дополнительная вкладка «БД», которая позволяет производить расчет мгновенного и кратковременного фликера, по имеющейся базе напряжений. Базой данной для такого расчёта выступает таблица данных, записанная в виде Excel файлов с разрешением *.xls или *.xlsx. В алгоритм работы вкладки «БД» заложена методика, по которой вначале определяются мгновенный фликер для линейного напряжения, а затем с помощью блока статистической обработки (классификатора) рассчитывается кратковременная доза

фликера. На рис. 3 представлена блок-схема расчета кратковременной дозы фликера по действующему линейному напряжению, реализованная в разработанном ПО «Flicker».

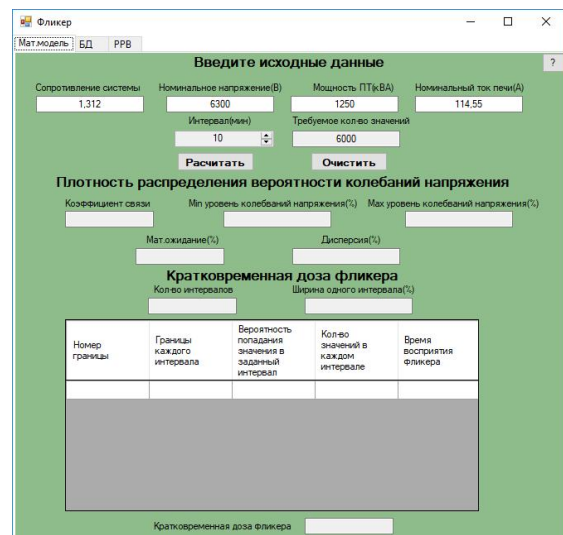


Рис. 1. Пользовательский интерфейс ПО «Flicker»

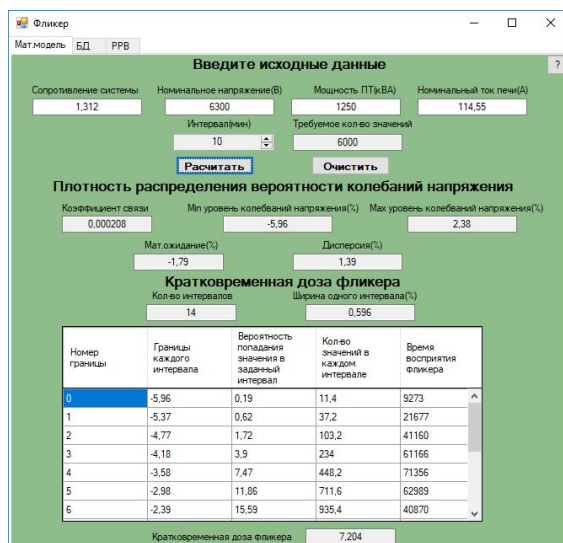


Рис. 2. Результат работы вкладки «Мат. модель»



Рис. 3. Блок-схема расчёта кратковременной дозы фликера вкладки «БД»

Загрузка базы выполняется с помощью блока 1. При этом пользователю необходимо указать характеристики напряжения: действующее/мгновенное, линейное/фазное. После чего данный блок выполняет расчет приведения напряжения к действующему линейному и производит приведение значений к относительным единицам, рассчитываемых за половину периода питающего напряжения. Далее значения поступают на блок 2, где сначала производится фильтрация нижних частот с усреднением сигнала за 16 периодов промышленной частоты. В качестве фильтра выступает апериодическое звено с постоянной времени 0,32 с. Кроме того, блок 2 выполняет работу квадратичного демодулятора, после чего значения поступают на блок 3, который представлен взвешивающими фильтрами с эквивалентной передаточной функцией, представленной ниже.

$$W_{рез}(p) = \frac{1}{1 + \frac{p}{\omega_4}} \cdot \frac{1 + \frac{p}{\omega_2}}{1 + \frac{p}{\omega_3}} \cdot \frac{K\omega_1 p}{p^2 + 2\lambda p + \omega_1^2}, \quad (1)$$

где $\omega_1=2\pi 9,15494$; $\omega_2=2\pi 2,27979$; $\omega_3=2\pi 1,22535$; $\omega_4=2\pi 21,9$; $K=1,74802$; $\lambda=2\pi 4,05981$.

Частотная характеристика (рис. 4) блока 3 является центрированной относительно частоты 8,8 Гц, на которой восприятие человеком колебаний светового потока является максимальной. Таким образом, фильтры выполняют взвешивание колебаний напряжения в соответствии с чувствительностью цепи «лампа-глаз-мозг».

После блока 3 выполняется сглаживание с помощью фильтра в блоке 4, представленного апериодическим звеном с постоянной времени 0,3 с. И там же производится квадратичная обработка. На данном этапе происходит фиксация мгновенных значений фликера с необходимой функцией их ограничения, т.к. в первые секунды анализатора происходят чрезмерные всплески. За данное ограничение отвечает блок 5, в котором величина уставки ограничения принята на уровне 400 о.е. Следующий блок 6 отвечает за классификацию, определение интегральной вероятности и расчет кратковременной дозы фликера. Для выполнения классификации производится разбиение амплитуды сигнала, характеризующего уровень фликера, на 100 классов, которым соответствуют определенные диапазоны сигнала (рис. 5). Каждый раз, когда уровень фликера достигает определенного значения, счетчик соответствующего класса добавляет единицу к имеющемуся числу, таким образом, получается функция частотного распределения значений.

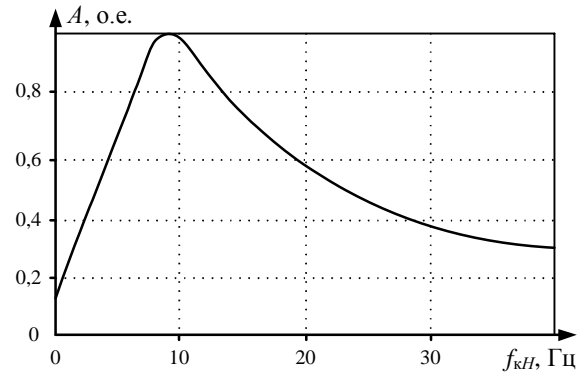


Рис. 4. Амплитудно-частотная характеристика блока 3

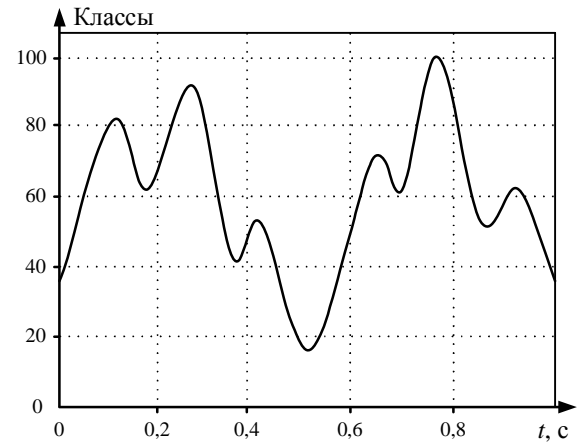


Рис. 5. Классификация значений мгновенного фликера

Выполнив классификацию, ПО «Flicker» производит определение интегральной вероятности функции частотного распределения мгновенного фликера и выполняет статистический анализ, который заключается в определении уровня фликера, соответствующего интегральной вероятности, равной: 0,1; 0,7; 1,0; 1,5; 2,2; 3,0; 4,0; 6,0; 8,0; 10,0; 13,0; 17,0; 30,0; 50,0; 80,0 %. Далее производится расчет сглаженных уровней фликера по следующим формулам:

$$\begin{aligned} P_{1s} &= \frac{P_{sti0,7} + P_{sti1,0} + P_{sti1,5}}{3}; \\ P_{3s} &= \frac{P_{sti2,2} + P_{sti3,0} + P_{sti4,0}}{3}; \\ P_{10s} &= \frac{P_{sti6,0} + P_{sti8,0} + P_{sti10} + P_{sti13} + P_{sti17}}{5}; \\ P_{50s} &= \frac{P_{sti30} + P_{sti50} + P_{sti80}}{3}, \end{aligned} \quad (2)$$

где P_{1s} , P_{3s} , P_{10s} , P_{50s} – значения сглаженного уровня фликера при интегральной вероятности, равной 1, 3, 10, 50 %, соответственно.

В завершении работы блок 6 определяет кратковременную дозу фликера:

$$P_{st} = \sqrt{P};$$

$$P = 0,0314P_{st0,1} + 0,0525P_{1s} + 0,0657P_{3s} + 0,28P_{10s} + 0,08P_{50s}. \quad (3)$$

Результат работы вкладки «БД» представлен на рис. 6. Как видно из рисунка, для удобства представления и анализа результатов данные выводятся в табличном виде.

Для визуализации полученных результатов вкладки «БД» в ПО «Flicker» реализована демонстрация графиков (рис. 7), в которых отображаются исследуемое напряжение, мгновенный фликер и интегральная вероятность. Для упрощения исследования графиков добавлена функция масштабирования.

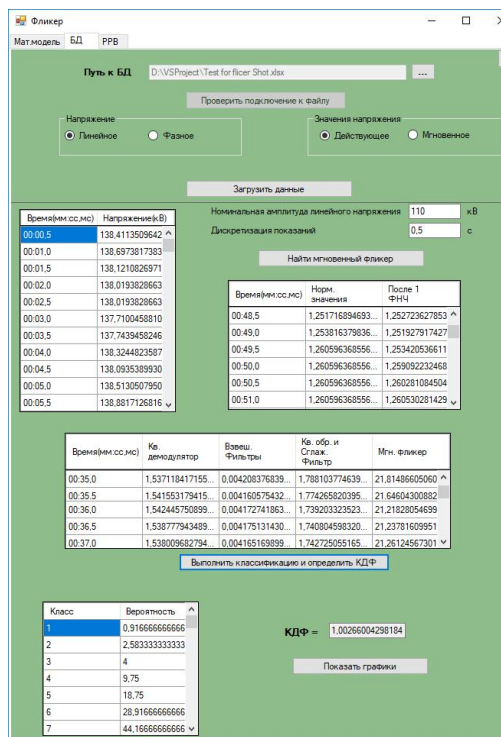


Рис. 6. Результат работы вкладки «БД»



Рис. 7. Вкладка отображение графиков полученных результатов вкладки «БД»

Для проверки адекватности разработанного ПО проводилось сравнение полученных результатов с результатами моделирования в среде Matlab. Как показал анализ, представленное ПО полностью соответствует методике расчета кратковременной дозы фликера. Стоит отметить, что скорость работы ПО меняется в зависимости от входного массива, записанного в базу данных напряжений. Поэтому для расчета длительной дозы фликера рекомендуется произвести расчет кратковременной дозы фликера на последовательных интервалах времени и выполнить дальнейшее вычисление в соответствии с методикой.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Источниками колебаний напряжения в большинстве случаев являются потребители с резкопеременным режимом работы, который характеризуется быстрыми изменениями активной и реактивной мощностей. Такое колебание напряжения может привести к появлению мерцаний освещения, находящихся в одной локальной электросети, и к появлению фликера. Влияние фликера на людей зависит не только от индивидуального восприятия данного явления человеком, но и от технических аспектов, например, характеристик ламп, которые подвергаются воздействию колебаний напряжения в электрической сети. Поэтому для оценки фликера был разработан ГОСТ, в соответствии с которым были разработаны и представлены на рынке различные устройства для оценки качества электроэнергии. Среди таких устройств можно отметить такие существенные недостатки, как цена и оценка показателей фликера только по эксплуатируемой сети. Поэтому разработано ПО «Flicker», позволяющее проводить оценку как по имеющейся базе значений напряжений, так и по параметрам комплекса ДСП. Представленное ПО в статье компенсирует известные имеющиеся недостатки оборудования. Стоит отметить, что заложенная методика не учитывает различную чувствительность ламп к колебаниям напряжения, кроме того алгоритмы, заложенные в программный продукт, не позволяют проводить измерение показателей фликера в реальном времени, поэтому продолжают работы по совершенствованию разработанного ПО «Flicker».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Карташев И.И., Тульский В.Н. Управление качеством электроэнергии / под ред. Ю.В. Шарова. М.: Издательский дом МЭИ, 2006. 320 с.
2. ГОСТ Р 51317.4.15-2012. Совместимость технических средств электромагнитная. Фликерметр. Функциональные и конструктивные требования. М.: Стандартинформ, 2014. 38 с.
3. ГОСТ 30804.4.30-2013. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Методы измерений показателей качества электрической энергии. М.: Стандартинформ, 2014. 57 с.
4. ГОСТ 32144-2013. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. М.: Стандартинформ, 2014. 20 с.
5. Новоселов Н.А., Николаев А.А., Корнилов Г.П. Анализ показателей качества электроэнергии при проектировании систем электроснабжения дуговых сталеплавильных печей малой мощности [Электронное издание]. Магнитогорск, 2017.

6. Варианты построения системы автоматического регулирования распределения долей энергетических ресурсов в дуговых печах/ Г.П. Корнилов, А.А. Николаев, П.А. Шулепов, О.И. Петухова // Электротехнические системы и комплексы. 2017. №4(37). С. 32-37.
7. Храмшин Т.Р., Абдулвелеев И.Р., Корнилов Г.П. Обеспечение электромагнитной совместимости мощных электротехнических комплексов // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Энергетика. 2015. Т. 15. №1. С. 82-93.
8. Разработка математической модели анализатора качества электроэнергии в соответствии с ГОСТ 54149-2010 на базе программного пакета Matlab с приложением Simulink для анализа качества напряжения в системах электроснабжения мощных дуговых сталеплавильных печей / А.А. Николаев, Г.П. Корнилов, А.А. Карпеш, Е.Д. Спирина // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования. 2014. Т. 2. С. 91-95.
9. Корнилов Г.П., Николаев А.А., Храмшин Т.Р. Моделирование электротехнических комплексов промышленных предприятий: учебное пособие. Магнитогорск: Магнитогорск гос. техн. ун-т им. Г. И. Носова, 2014. 239 с.
10. Ограничение провалов напряжения в системах электроснабжения промышленных предприятий/ Г.П. Корнилов, А.Ю. Коваленко, А.А. Николаев, И.Р. Абдулвелеев, Т.Р. Храмшин // Электротехнические системы и комплексы. 2014. №2(23). С. 44-48.
11. Экспериментальные исследования электромагнитной совместимости современных электроприводов в системе электроснабжения металлургического предприятия / А.А. Николаев, Г.П. Корнилов, Т.Р. Храмшин, Г.В. Никифоров, Ф.Ф. Мугаллапова // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2016. Т. 14. №4. С. 96-105.
12. Особенности моделирования дуговой сталеплавильной печи как электротехнического комплекса / Г.П. Корнилов, А.А. Николаев, Т.Р. Храмшин, Т.Ю. Вахитов, И.А. Якимов // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2015. №1. С. 76.
13. Лисицкий К.Е. Совершенствование методов оценки фликера в электрических сетях: дис. ... канд. техн. наук 05.14.02 / Лисицкий Константин Евгеньевич, Братск, 2017.
14. G. Shen, D. Xu, L. Cao, and X. Zhu. «An improved control strategy for grid-connected voltage source inverters with an LCL-filter», IEEE Trans. Power Electron., vol. 23, no. 4, pp. 1899–1906, Jul. 2008.

Поступила в редакцию 19 марта 2019 г.

INFORMATION IN ENGLISH

CALCULATION OF SHORT-TERM FLICKER VALUE IN ELECTRIC NETWORKS OF ENTERPRISES

Gennadiy P. Kornilov

D.Sc. (Engineering), Professor, Head of the Department of Electric Power Supply of Industrial Enterprises, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia. E-mail: korn_mgn@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2451-3850>

Inna I. Barankova

D.Sc. (Engineering), Associate Professor, Head of the Department of Computer Science and Information Safety Engineering, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia. E-mail: inna_barankova@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6077-6164>

Georgy I. Lukyanov

Post-graduate student, Computer Science and Information Safety Engineering Department, Power Engineering and Automated Systems Institute, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia. E-mail: decorsi@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7010-2243>

Alexander L. Karyakin

D.Sc. (Engineering), Senior Research Scientist, Head of the Department of Mining Enterprise Electrification, the Ural State Mining University, Yekaterinburg, Russia.

The quality of electrical energy is a component of electromagnetic compatibility and is determined by a set of characteristics. Deterioration in the quality of electrical energy causes damage to electrical equipment, increases the energy intensity of technological processes and affects people's health. To prevent such consequences, it is necessary to conduct methodological, technical and organizational measures. One of the indicators of the quality of electrical energy in accordance with GOST 32144-2013 is a flicker. In this case, the flicker value is the most difficult indicator of the quality of electricity in terms of calculation. There is a special state standard in which a description of the structure of the flickermeter is given, the technical requirements and test methods for this device are considered. The article provides a comparative analysis of software and hardware solutions for assessing the flicker value on the Russian market. The developed software "Flicker" for the calculation of the short-term flicker value is presented and the main modules of the program are presented. The algorithm of

calculation according to the characteristics of an electric steel-smelting furnace is considered, which allows determining the short-term flicker value at the design stage of an electrical engineering complex. The Flicker software algorithm and the method for calculating the instant and short-term flicker value using the database of instantaneous voltages were reviewed. A module for visual presentation of voltage changes and instantaneous flicker values in the form of scalable graphs is presented. The analysis of the obtained calculation results obtained using the developed software is given.

Keywords: power quality, voltage fluctuations, flicker, instantaneous flicker value, short-term flicker value, weighing filters, «Flicker» software.

REFERENCES

1. Kartashev I.I., Tulsy V.N. *Upravlenie kachestvom ehlektroehnergii* [Management of the quality of electricity] // un-

- der the editorship of Yu.V. Sharov. Moscow.: Publishing House of MEI, 2006. 320 p. (In Russian)
2. GOST R 51317.4.15-2012. Electromagnetic compatibility of technical equipment. Flicker meter. Functional and structural requirements/ Moscow: Standardinform, 2014. 38 p. (In Russian)
 3. GOST 30804.4.30-2013. Electric Energy. Electromagnetic compatibility of technical equipment. Methods for measuring the quality of electrical energy. Moscow: Standardinform, 2014. 57 p. (In Russian)
 4. GOST 32144-2013. Electrical energy. Electromagnetic hardware compatibility. Quality standards for electrical energy in general-purpose power supply systems. Moscow: Standardinform, 2014. 20 p. (In Russian)
 5. Novoselov N.A., Nikolaev A.A., Kornilov G.P. Analysis of power quality indicators when designing power supply systems for low-power arc steel-smelting furnaces [Electronic Edition] // Magnitogorsk, 2017. (In Russian)
 6. Kornilov G.P., Nikolaev A.A., Shulepov P.A., Petukhova O.I. Options for building a system of automatic control of the distribution of shares of energy resources in arc furnaces // *Elektrotekhnicheskie sistemy i komplekсы* [Electrotechnical systems and complexes]. 2017. No. 4 (37). P. 32-37. (In Russian)
 7. Khramshin T.R., Abdulvelev I.R., Kornilov G.P. Ensuring electromagnetic compatibility of powerful electrical systems // *Vestnik Yuzhno-Uralskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Energetika* [Bulletin of the South Ural State University. Series: Energy]. 2015. Vol. 15. No. 1. P. 82-93. (In Russian)
 8. Nikolaev A.A., Kornilov G.P., Karpesh A.A., Spierova E.D. Development of a mathematical model of an analyzer of power quality in accordance with GOST 54149-2010 based on the Matlab software package with simulink application for analyzing the voltage quality in power supply systems of high-power arc steel-smelting furnaces // *Aktualnye problemy sovremennoy nauki, tekhniki i obrazovaniya* [Actual problems of modern science, technology and education]. 2014. Vol. 2. P. 91-95. (In Russian)
 9. Kornilov G.P., Nikolaev A.A., Khramshin T.R. *Modelirovanie ehlektrotekhnicheskikh kompleksov promyshlennykh predpriyatij* [Modeling of electrotechnical complexes of industrial enterprises] // G. I. Nosov Magnitog. state tech. unty. Magnitogorsk: MSTU, 2014. 239 p. (In Russian)
 10. Kornilov G.P., Kovalenko A.Yu., Nikolaev A.A., Abdulvelev I.R., Khramshin T.R. Restriction of voltage dips in power supply systems of industrial enterprises // *Elektrotekhnicheskie sistemy i komplekсы* [Electrotechnical systems and complexes]. 2014. No. 2(23). P. 44-48. (In Russian)
 11. Nikolaev A.A., Kornilov G.P., Khramshin T.R., Nikiforov G.V., Mutallapova F.F. Experimental studies of electromagnetic compatibility of modern electric drives in the power supply system of a metallurgical enterprise // *Vestnik Magnitogorskogo Gosudarstvennogo Tekhnicheskogo Universiteta* [Vestnik of Magnitogorsk State Technical University]. 2016. Vol. 14. No. 4. P. 96-105. (In Russian)
 12. Kornilov G.P., Nikolaev A.A., Khramshin T.R., Vahitov T.Yu., Yakimov I.A. Features of modeling arc steel-smelting furnace as an electro-technical complex // *Vestnik Magnitogorskogo Gosudarstvennogo Tekhnicheskogo Universiteta* [Vestnik of Magnitogorsk State Technical University]. 2015. No. 1. P. 76. (In Russian)
 13. Lisitsky K.E. *Sovershenstvovaniye metodov otsenki flikera v elektricheskikh setyakh. Kand. Diss.* [Improving methods for assessing flicker in electrical networks. Ph.D. Diss.]. Bratsk, 2017.
 14. G. Shen, D. Xu, L. Cao, and X. Zhu, «An improved control strategy for grid-connected voltage source inverters with an LCL-filter» IEEE Trans. Power Electron., vol. 23, no. 4, pp. 1899–1906, Jul. 2008.

Корнилов Г.П., Баранкова И.И., Лукьянов Г.И., Карякин А.Л. Расчет кратковременной дозы фликера в электрических сетях предприятий // *Электротехнические системы и комплексы*. 2019. № 3(44). С. 10-15. [https://doi.org/10.18503/2311-8318-2019-3\(44\)-10-15](https://doi.org/10.18503/2311-8318-2019-3(44)-10-15)

Kornilov G.P., Barankova I.I., Lukyanov G.I., Karyakin A.L. Calculation of Short-Term Flicker Value in Electric Networks Of Enterprises. *Elektrotekhnicheskie sistemy i komplekсы* [Electrotechnical Systems and Complexes], 2019, no. 3(44), pp. 10-15. (In Russian). [https://doi.org/10.18503/2311-8318-2019-3\(44\)-10-15](https://doi.org/10.18503/2311-8318-2019-3(44)-10-15)