

УДК 621.31:537.5

**ИССЛЕДОВАНИЕ ЭМИССИИ ПОМЕХ, ОБУСЛОВЛЕННЫХ
ФЛИКЕРОМ ПРИ РАБОТЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО РЕАКТОРА****С.Ю. Шишулькин¹, Ф.Л. Чан², А.И. Баташов²,
Э.Н. Чередов², А.Г. Девятов¹, А.А. Москвитин²**¹*Бурятский государственный университет имени Доржи Банзарова*²*Восточно-Сибирский государственный университет
технологий и управления*

Исследование качества электрической энергии является неотъемлемой частью технико-экономической оценки производственного процесса для предприятий использующих электрическую энергию для плавления различных материалов. В работе приведены данные об исследовании качества электрической энергии сети при работе электромагнитного технологического реактора на различных режимах плавки. Электромагнитный технологический реактор предназначен для плавления кремнийсодержащих горных пород, например, базальта, а также золы мусоросжигательного завода и золошлаков тепловых электрических станций. Плавка дисперсных и мелкозернистых материалов требует высокого качества электрической энергии для обеспечения бесперебойной работы оборудования и необходимых объемов производства. При этом сам реактор в работе оказывает негативное влияние на качество электрической энергии сети. Оценка качества электрической энергии проводилась на основании данных о кратковременных и длительных дозах фликера. Помимо указанных параметров приведены данные о полной номинальной и полной максимальной мощностях, определены максимальная активная и реактивные мощности. Определены мощность короткого замыкания и существующие при этом сопротивления, в том числе активные и реактивные. На основании полученных данных сделаны выводы о качестве электрической энергии питающей сети.

Ключевые слова: качество электрической энергии, электромагнитный реактор, фликер, длительная доза фликера, кратковременная доза фликера, колебания напряжения.

DOI: 10.17212/1727-2769-2025-2-51-68

Введение

Во многих областях промышленности активно применяется электрическая энергия, преобразуемая в различные другие, в том числе и в тепловую для плавления различных материалов в электродуговых печах. Процессы плавления различных материалов сопровождаются нестабильными режимами потребления электрической энергии, обусловленными необходимостью слива расплава и плавки новой порции материала, что безусловно

влияет на качество электрической энергии в сети, само же качество электроэнергии напрямую влияет на стабильность работы различных типов электрооборудования и сроки их безаварийной работы.

Оценку качества электроэнергии проводят различными способами и по различным критериям. Основным нормативным документом оценки качества электроэнергии является ГОСТ 32144–2013 [1]. Согласно данному документу одним из показателей качества электроэнергии является фликер, который может быть определен с помощью анализатора качества электроэнергии через обработку входных данных о токах и напряжениях.

Полученные данные о дозе фликера позволяют повысить качество электроэнергии за счет установки различных устройств и разработки оптимальных режимов работы электроприемников. Оценка качества электроэнергии по данным о фликере довольно распространена и даже сегодня имеется много работ [2–8] по повышению качества электроэнергии.

Целью данной работы является оценка эмиссии помех, обусловленных фликером при работе экспериментальной установки на разных этапах режима плавки.

1. Методика исследования и экспериментальная установка

Экспериментальная лабораторная установка состоит из электромагнитного технологического реактора, серийной трехфазной обмотки, трехфазного регулируемого тиристорного преобразователя со встречно-параллельно включенными тиристорами в каждой фазе, работающего в режиме источника тока, блока управления. Установка рассчитана на напряжение 220/127 В. Основным потребителем электрической энергии является электромагнитный технологический реактор.

Электромагнитный технологический реактор (рис. 1) представляет собой электротермическое устройство и используется для плавления минеральных компонентов и реализации химических реакций в конденсированной фазе, в частности для плавления золошлаков ТЭС, золы мусоросжигательных заводов, стеклобоя и базальтовых пород для получения из них волокнистых теплоизоляционных материалов [9].

Схема включения установки в общую сеть представлена на рис. 2. Поскольку питание лаборатории осуществляется на напряжении 380/220 В, то в систему электроснабжения включен трансформатор ТСЗ-40/380/220 мощностью 40 кВА со схемой соединения звезда с нулем – треугольник.

Исследование влияния различных энергоустановок на общую сеть предусматривает оценку различных показателей, в том числе и определение дозы фликера. Согласно [1] кратковременная доза фликера P_{st} не должна превышать значения 1,38, а длительная доза фликера P_{lt} не должна превышать значения 1,0.

Номинальные токи при работе установки составляют от 120 до 200 А. В литературе [10] даны рекомендации по оценке дозы фликера для установок с током выше 75 А. Для оборудования с входным током, превыша-

ющим 75 А на фазу, рекомендуется детальное изучение системы электро-снабжения на предмет соответствия требованиям норм качества электро-энергии [10]. Оборудование должно быть оценено с учетом реального полного сопротивления системы.

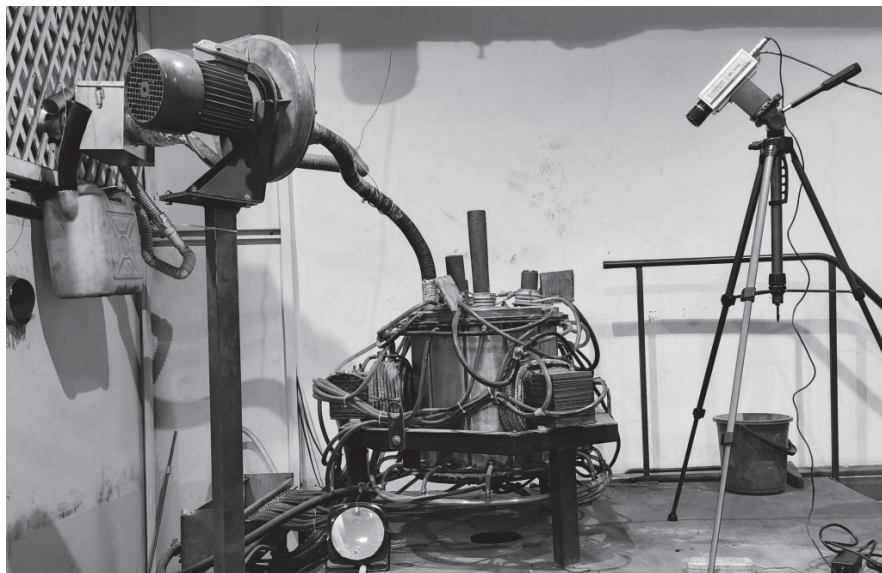


Рис. 1 – Электромагнитный технологический реактор

Fig. 1 – Electromagnetic technological reactor

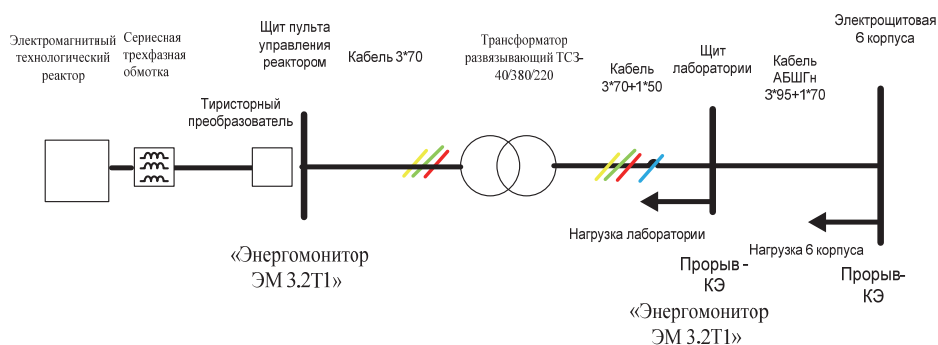


Рис. 2 – Схема системы электроснабжения до точки общего пользования

Fig. 2 – Scheme of the power supply system to the public point

В экспериментах были задействованы приборы для измерения показателей качества электроэнергии «Энергомонитор ЭМ 3.2Т1» и «Прорыв-КЭ».

Для оценки дозы фликера проводилось подключение указанных выше приборов, далее включалась установка и производилось расплавление исходной шихты до температуры порядка 1450 К, с последующим сливом

расплава. Расплавление происходило с помощью переменного тока, протекающего в начале плавания в виде плазменных шнуров между тремя графитовыми электродами, а в последующем с помощью омического нагрева расплава. Перемешивание расплава осуществляется с помощью магнитных потоков, формируемых сериями обмотками с ярмом из трансформаторного железа. Каждая катушка последовательно соединена с графитовым электродом [11]. Регулирование тока в электроустановке осуществлялось вручную по мере изменения характеристик расплава.

Эксперименты проводились в двух режимах: работа установки при включенных и выключенных сериях обмоток.

2. Результаты и их обсуждение

Ниже приведены результаты исследований первого режима (рис. 3–5, табл. 1) – работа электромагнитного технологического реактора при включенных сериях обмоток.

Прибор «Энергомонитор ЭМ 3.2Т1» был установлен на щите управления 220/127 В (рис. 2).

На графике (рис. 4) условно можно выделить примерно две зоны: быстрое нарастание тока в течение примерно 7 минут и далее ступенчатое изменение тока. Максимальное значение тока составило $I_{\max} = 125,286$ А.



Рис. 3 – Токи фаз *A*, *B* и *C* реактора с сериями обмотками

Fig. 3 – Currents of phases *A*, *B* and *C* of the reactor with series windings

Кратковременная доза фликера (рис. 4) имеет резкие колебания, отличающиеся по фазам. Но на всем периоде доза фликера превышает норму. После отключения установки доза фликера равна 0,157.

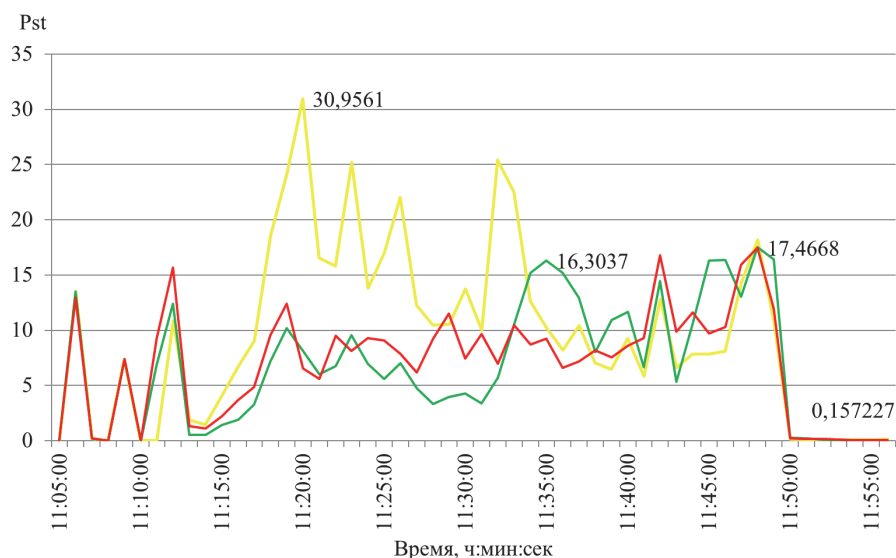


Рис. 4 – Кратковременная доза фликера P_{st} в эксперименте с включенными серийными обмотками на напряжении 220/127 В

Fig. 4 – Short-term dose of flicker P_{st} in the experiment with series windings on at 220/127 V

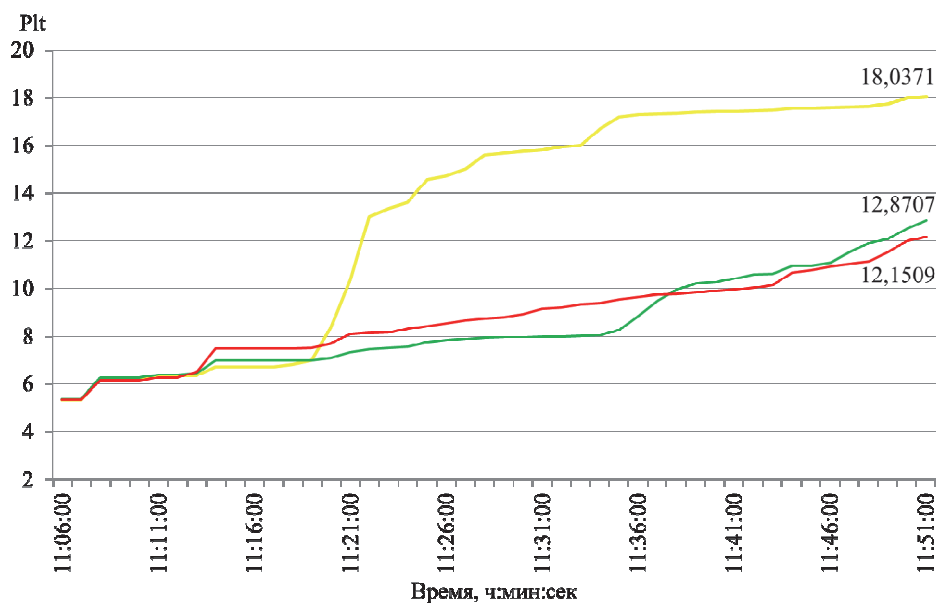


Рис. 5 – Длительная доза фликера P_{lt} в эксперименте с включенными серийными обмотками на напряжении 220/127 В

Fig. 5 – Long-term flicker dose P_{lt} in the experiment with series windings on at 220/127 V

Длительная доза фликера (рис. 6) для фазы A на следующем этапе значительно превышает аналогичные значения для фаз B и C .

Таблица 1 / Table 1

Сравнение максимально допустимых значений доз фликера с экспериментальными данными при включенных серийных обмотках
Comparison of maximum permissible flicker dose values with experimental data with series windings switched on

Измеряемая характеристика	Результат измерений: максимальное значение за период измерений	Нормативные значения [1]
Фазное <i>A</i>		
<i>Pst</i>	30,96	1,38
<i>Plt</i>	18	1
Фазное <i>B</i>		
<i>Pst</i>	16,3	1,38
<i>Plt</i>	12,9	1
Фазное <i>C</i>		
<i>Pst</i>	17,5	1,38
<i>Plt</i>	12,2	1

Результат исследований второго режима работы (с отключенными серийными обмотками) представлен на рис. 6–8 и в табл. 2. Прибор «Энергомонитор ЭМ 3.2Т1» был установлен на щите управления 220/127 В (рис. 2).



Рис. 6 – Токи фаз *A*, *B* и *C* реактора с отключенными серийными обмотками

Fig. 6 – Currents of phases *A*, *B* and *C* of the reactor with disconnected series windings

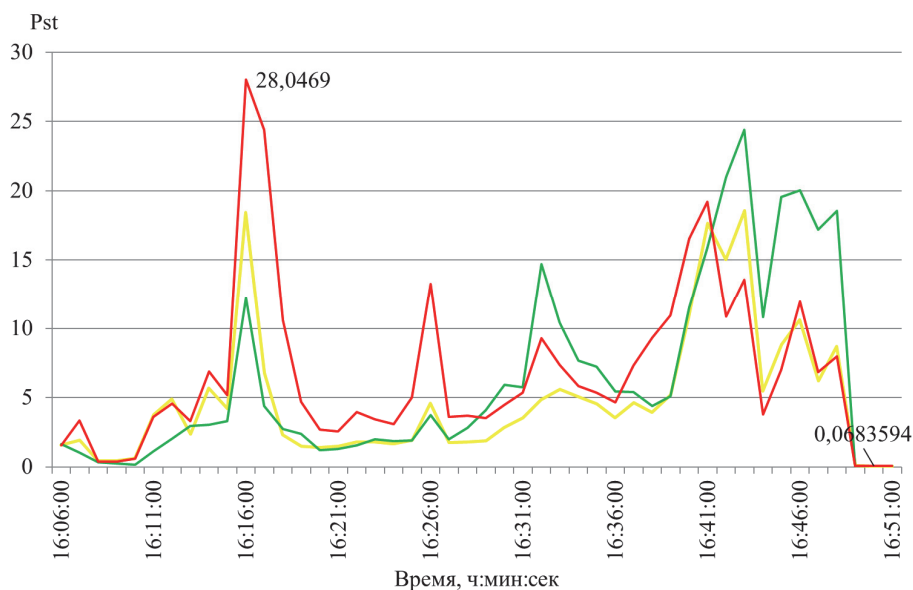


Рис. 7 – Кратковременная доза фликера P_{st} в эксперименте с отключенными серийными обмотками на напряжении 220/127 В

Fig. 7 – Short-term dose of flicker P_{st} in the experiment with disconnected series windings at a voltage of 220/127 V

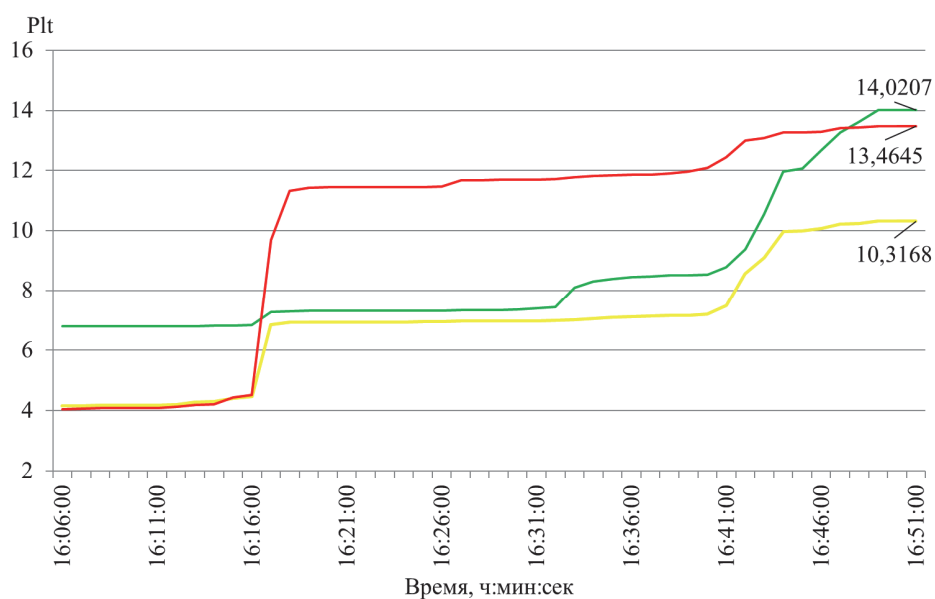


Рис. 8 – Длительная доза фликера Plt в эксперименте с отключенными серийными обмотками на напряжении 220/127 В

Fig. 8 – Long-term flicker dose Plt in the experiment with disconnected series windings at 220/127 V

Таблица 2 / Table 2

**Сравнение максимально допустимых значений доз фликера
с экспериментальными данными при выключенных серийных обмотках**

**Comparison of maximum permissible flicker dose values with
experimental data with series windings turned off**

Измеряемая характеристика	Результат измерений: максимальное значение за период измерений	Нормативные значения [1]
Фазное <i>A</i>		
<i>Pst</i>	18,59	1,38
<i>Plt</i>	10,32	1
Фазное <i>B</i>		
<i>Pst</i>	24,41	1,38
<i>Plt</i>	14,02	1
Фазное <i>C</i>		
<i>Pst</i>	28,05	1,38
<i>Plt</i>	13,46	1

Дополнительно были установлены приборы «Прорыв-КЭ» на электропитовой 6 корпуса ФГБОУ ВО «ВСГУТУ» и щите в лаборатории для анализа качества напряжения на напряжении 380/220 В (см. рис. 2). Данные рис. 6 позволяет сделать заключение о схожем характере изменения токов. Так, максимальный ток составил $I_{\max} = 156,1$ А.

Изменения кратковременной дозы фликера (рис. 7) имеют более резко выраженный характер. После отключения установки доза фликера не превышает 0,1.

Длительные дозы фликера на рис. 8 несколько ниже, чем в эксперименте с включенными серийными обмотками.

Рассмотрим данные (рис. 9–11, табл. 3) с прибора «Энергомонитор ЭМ 3.2Т1», установленного на щите лаборатории (рис. 2) на напряжении 380/220 В при включенных серийных обмотках.

В этом эксперименте ток измерялся на стороне 380 В и, как будет показано ниже, потребляемая мощность данного эксперимента оказалась наибольшей.

За счет трансформатора кратковременная доза фликера была значительно ниже, чем в предыдущих случаях. Превышение норм наблюдалось лишь на начальном периоде. Максимальное значение дозы фликера в системе электроснабжения при отключенной установке не превышает 0,4.

Анализ рис. 11 показал, что длительная доза фликера оказалась значительно выше нормы.

На основании проведенных экспериментов были определены активные, полные и реактивные мощности установки, представленные в табл. 4.

Максимальный ток в данном эксперименте составил $I_{\max} = 103,8$ А.

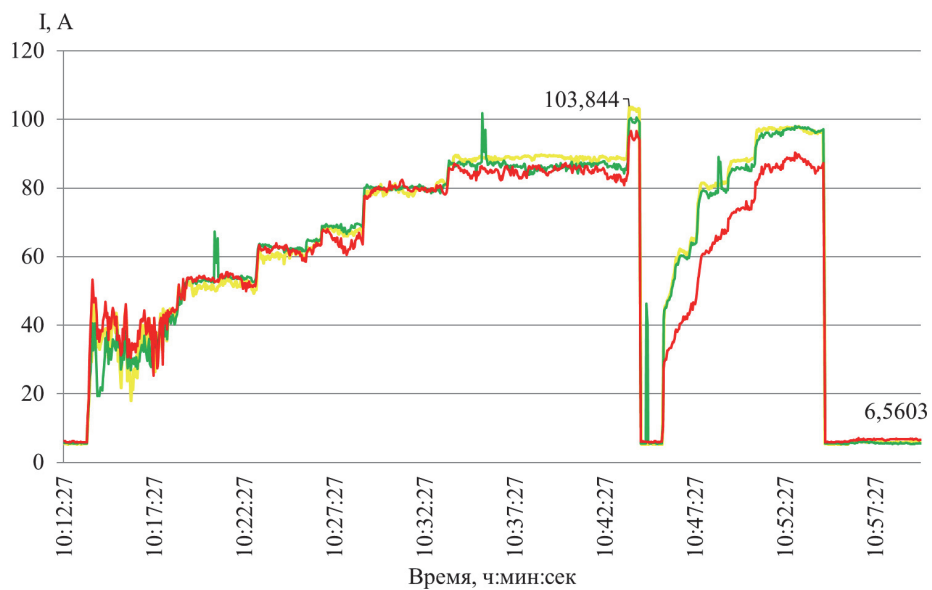


Рис. 9 – Токи фаз A , B и C на стороне 380 В с включенными серийными обмотками

Fig. 9 – Currents of phases A , B and C on the 380 V side with series windings switched on

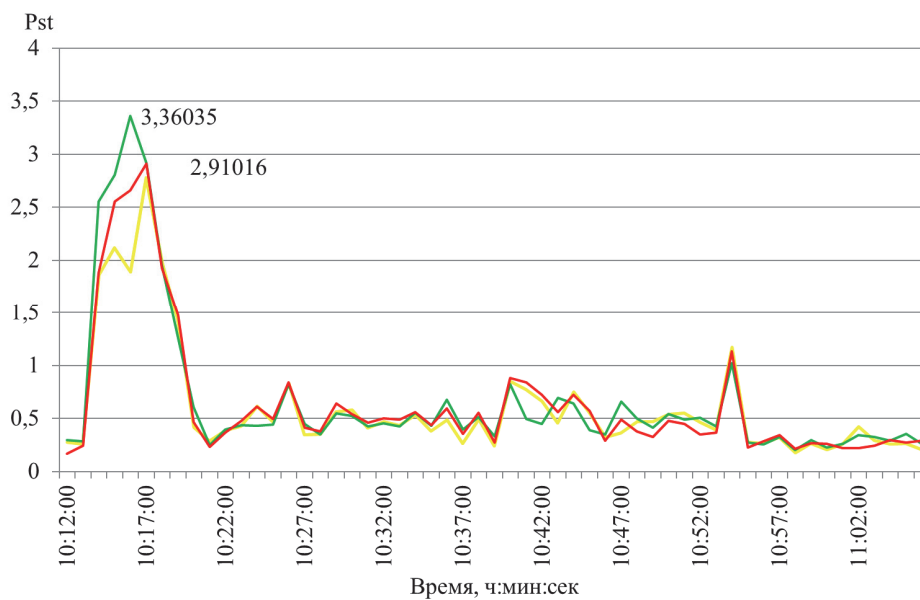


Рис. 10 – Кратковременная доза фликера Pst на стороне 380/220 В

Fig. 10 – Short-term flicker dose Pst on the 380/220 V side

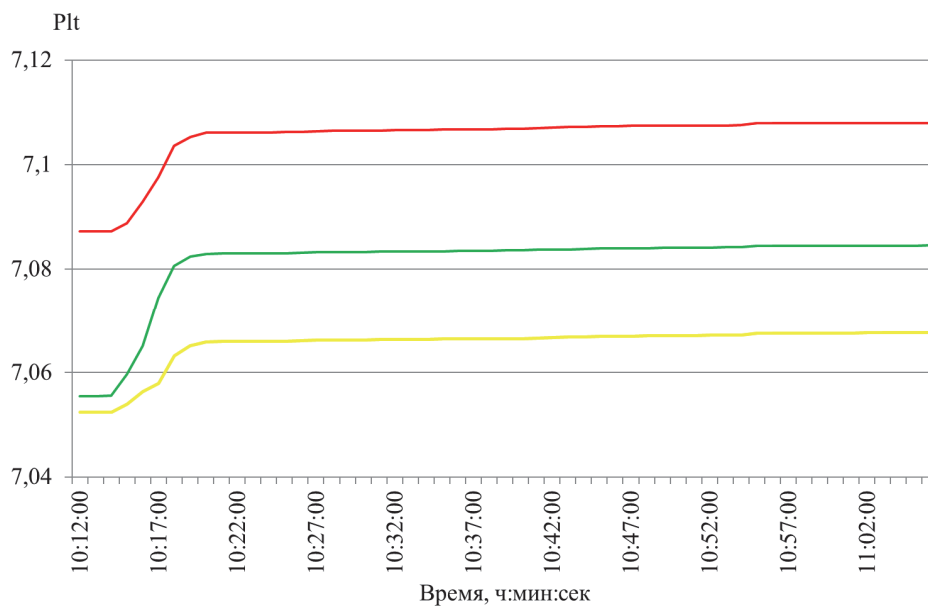
Рис. 11 – Длительная доза фликера Plt на стороне 380/220 ВFig. 11 – Long-term flicker dose Plt on 380/220 V side

Таблица 3 / Table 3

**Сравнение максимально допустимых значений доз фликера
с экспериментальными данными при включенных серийных
обмотках на стороне 380/220 В**

**Comparison of maximum permissible flicker dose values
with experimental data with series windings on the 380/220 V side**

Измеряемая характеристика	Результат измерений: максимальное значение за период измерений	Нормативные значения [1]
Фазное А		
Pst	2,77	1,38
Plt	7,07	1
Фазное В		
Pst	3,36	1,38
Plt	7,08	1
Фазное С		
Pst	2,9	1,38
Plt	7,11	1

Таблица 4 / Table 4

Мощностные показатели экспериментальной установки**Power parameters of the experimental setup**

Эксперимент	$U_{\text{ном}},$ кВ	$I_{\text{max}},$ А	Полная номинальная мощность технической системы согласно п. 3.9 [12], кВА	Максимальная полная мощность в эксперименте, кВА	Максимальная активная мощность в эксперименте, кВт	Максимальная реактивная мощность ($Q_{\Sigma \text{геом}} / Q_{\Sigma \text{сдвиг}} / Q_{\Sigma \text{перекр}}),$ квар
На стороне 220 В с серийными обмотками	0,220	125,3	49,85687	48,9	40,98	35,77 / 27,89 / 29,12
На стороне 220 В без серийных обмоток	0,220	156,1	62,11219	61,85	51,7502	42,92 / 29,25 / 31,41
На стороне 380 В с серийными обмотками	0,380	103	71,276	65,98	40,97	38,34 / 2,77 / 1,68

Для характерных точек системы электроснабжения были измерены мощности короткого замыкания, приведенные в табл. 5.

Таблица 5 / Table 5

Мощности короткого замыкания**Short circuit powers**

Точка системы электроснабжения	Напряжение линейное, кВ	Мощность КЗ, кВА	Полное сопротивление Z, Ом	Сопротивление активное, Ом	Сопротивление реактивное, Ом
Электрощитовая 380/220 В	0,38	800,0	0,2	0,139	0,144
Шины 380/220 В щита лаборатории	0,38	695,7	0,23	0,199	0,141
Пульт управления установки 220/127 В	0,22	330,6	0,16	0,124	0,101

Согласно [13] при испытаниях данных установок применяют следующие нормы: кратковременная доза фликера Pst не должна превышать 1,0; длительная доза фликера Plt не должна превышать 0,65.

Рекомендуемые нормы фликера Pst согласно п. 5.2 [10] для конкретного образца оборудования с током более 75 А на фазу рассчитывают по формуле (1) для диапазона $0,6 < Pst < 1$:

$$PstLIMIT = \left(\frac{Sl}{STR} \right)^{\frac{1}{3}}, \quad (1)$$

где Sl – номинальная полная мощность подключаемой нагрузки; STR – номинальная полная мощность питающего трансформатора среднего/низкого напряжения.

Для трансформаторов мощностью 100, 160, 250 и 400 кВА значения $PstLIMIT$ соответственно равны 0,991, 0,619, 0,396 и 0,248. Для значений кратковременных доз фликера ниже 0,6 рекомендуется брать $PstLIMIT = 0,6$.

Рекомендуемую норму Plt для конкретного образца оборудования определяют по формуле

$$PltLIMIT = 0,65 \cdot PstLIMIT. \quad (2)$$

Для этих же значений мощностей трансформаторов $PstLIMIT$ соответственно равны 0,644, 0,403, 0,258 и 0,161.

Согласно примечанию 3 [10] рассчитанные нормы фликера являются рекомендуемыми значениями, так как должны быть учтены существующий уровень фликера в присоединенной электрической сети среднего напряжения, уровень совместимости электрической сети низкого напряжения и любые действующие правила поставщика электрической энергии.

Заключение

В рассматриваемых экспериментах кратковременная доза фликера в сети 220/127 В при отключенной установке не превышала 0,16, а в сети 380/220 В – 0,4.

Поскольку в экспериментах осуществлялось ручное регулирование токов, то режим плавки возможно вести как при токах ниже 75 А, так и при более высоких значениях. Это позволяет при анализе оценки дозы фликера использовать нормативные документы для диапазона от 16 до 75 А и более 75 А.

Кратковременные и длительные дозы фликера на стороне 220/127 В значительно превышают допустимые значения в процессе всего периода плавки.

На стороне 380/220 В дозы фликера значительно ниже, но эти режимы нельзя считать корректными вследствие значительной перегрузки трансформатора.

Расчеты показали, что рекомендуемые кратковременные дозы фликера в диапазоне от 0,6 до 1 обеспечиваются для трансформаторов 160 и 100 кВА при токах более 75 А.

Полученные данные позволяют перейти к расчетам и выбору фильтрокомпенсирующих устройств для обеспечения требуемых показателей качества электроэнергии.

ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ 32144–2013. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения // Техэксперт: сайт. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200104301> (дата обращения: 17.06.2025).
2. Патент № 2725489 Российская Федерация. Подавление фликера на электродуговой печи: опубл. 02.07.2020, Бюл. № 19 / Шен Д., Кэмпбэлл М.М., Чон Д., Уикстон Д.
3. **Черепанов В.В., Калинина Е.А., Бессолицын А.В.** Расчет кратковременной дозы фликера, возникающей при стохастическом характере изменения резкопеременных электрических нагрузок: свидетельство о гос. регистрации программы для ЭВМ № 2017612538: опубл. 27.02.2017, Бюл. № 19.
4. Патент № 2606672 Российская Федерация. Способ уменьшения фликера в электродуговых печах и устройство для его осуществления: опубл. 10.01.2017, Бюл. № 1 / Дёббелер А., Энгельс Р., Матчуллат Т., Мойзель В., Ригер Д.
5. Расчет кратковременной дозы фликера в электрических сетях предприятий / Г.П. Корнилов, И.И. Баранкова, Г.И. Лукьянов, А.Л. Карякин // Электротехнические системы и комплексы. – 2019. – № 3 (44). – С. 10–15.
6. **Пономарев В.А.** Моделирование электрической дуговой печи и влияние фликера на качество электроэнергии в пакете прикладных программ MATLAB / SIMULINK // Студенческий вестник. – 2018. – № 23-2 (43). – С. 89–93.
7. **Лисицкий К.Е.** Совершенствование методов оценки фликера в электрических сетях: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.14.02 / Институт систем энергетики им. Л.А. Мелентьева Сибирского отделения Российской академии наук. – Иркутск, 2017. – 28 с.
8. **Матинян А. М., Киселев А.Н., Дроздов А.В.** Сравнительный анализ подавления фликера статическим тиристорным компенсатором и активным фильтрокомпенсирующим устройством // Электричество. – 2014. – № 12. – С. 4–13.
9. Патент № 2432719 Российская Федерация. Электромагнитный технологический реактор: опубл. 27.10.2011, Бюл. № 30 / Буянтуев С.Л., Малых А.В., Пашинский С.Г., Иванов А.А., Китаев В.В.
10. ГОСТ IEC/TS 61000-3-5–2013. Совместимость технических средств электромагнитная. Ограничение колебаний напряжения и фликера, вызываемых техническими средствами с номинальным током более 75 А, подключаемыми к низковольтным системам электроснабжения. Нормы и методы испытаний // Техэксперт: сайт. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200105739> (дата обращения: 17.06.2025).
11. Патент № 2764506 Российская Федерация. Плазменный способ получения минеральной ваты из золошлаковых отходов мусоросжигательных заводов и установка для его осуществления: опубл. 18.01.2022, Бюл. № 2. / Буянтуев С.Л., Шишулькин С.Ю., Малых А.В., Иванов А.А., Педынин В.В.
12. ГОСТ 30804.3.12–2013. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы гармонических составляющих тока, создаваемых техническими средствами с потребляемым током более 16 А, но не более 75 А (в одной фазе), подключаемыми к низковольтным распределительным системам электроснабжения. Нормы и методы испытаний // Техэксперт: сайт. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200104833> (дата обращения: 17.06.2025).

13. ГОСТ ИЕС 61000-3-3–2015. Электромагнитная совместимость (ЭМС). Часть 3-3. Нормы. Ограничение изменений напряжения, колебаний напряжения и фликера в общественных низковольтных системах электроснабжения для оборудования с номинальным током не более 16 А (в одной фазе), подключаемого к сети электропитания без особых условий // Техэксперт: сайт. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200123260> (дата обращения: 17.06.2025).

STUDY OF EMISSION OF INTERFERENCE CAUSED BY FLICKER DURING OPERATION OF ELECTROMAGNETIC TECHNOLOGICAL REACTOR

Shishulkin S. Yu.¹, Tran Ph.L.², Batashov A.I.²,

Cheredov E.N.², Devyatov A.G.¹, Moskvitin A.A.²

¹Banzarov Buryat State, Ulan-Ude, Russia

²East Siberian State University of Technology and Management,
Ulan-Ude, Russia

The study of the quality of electrical energy is an integral part of the technical and economic assessment of the production process for various enterprises using electrical energy for melting various materials. The paper presents data on the study of the quality of electrical energy in the network during operation of the electromagnetic technological reactor in various melting modes. The electromagnetic technological reactor is designed to melt silicon-containing rocks, such as basalt, as well as ash from a waste incineration plant and ash and slag from thermal power plants. Melting of dispersed and fine-grained materials requires high-quality electrical energy to ensure uninterrupted operation of the equipment and the required production volumes. At the same time, the reactor itself in operation has a negative impact on the quality of electrical energy in the network. The assessment of the quality of electrical energy was carried out based on data on short-term and long-term flicker doses. In addition to the specified parameters, data on the full nominal and full maximum powers are provided, the maximum active and reactive powers are determined. The short-circuit power and existing resistances, including active and reactive ones, are determined. Based on the obtained data, conclusions were made about the quality of electrical energy in the power grid.

Keywords: quality of electrical energy, electromagnetic reactor, flicker, long-term flicker dose, short-term flicker dose, voltage fluctuations.

DOI: 10.17212/1727-2769-2025-2-51-68

REFERENCES

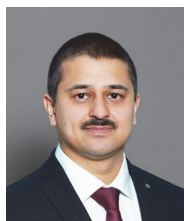
1. GOST 32144–2013. *Elektricheskaya energiya. Sovmestimost' tekhnicheskikh sredstv elektromagnitnaya. Normy kachestva elektricheskoi energii v sistemakh elektroснаб-
зheniya obshchego naznacheniya* [State Standard 32144–2013. Electric energy. Electromagnetic compatibility of technical equipment. Power quality limits in the public power supply systems]. Available at: <https://docs.cntd.ru/document/1200104301> (accessed 17.06.2025).
2. Shen D., Kempbell M.M., Cheung J., Wikston J. Podavleniye flikera na elektrodugovoy pechi [Flicker suppression in an electric arc furnace]. Patent RF, no. 2725489, 2020.

3. Cherepanov V.V., Kalinina E.A., Bessolitsyn A.V. *Raschet kratkovremennoi dozy flikera, vznikayushchei pri stokhasticheskom kharaktere izmeneniya rezkoperemennykh elektricheskikh nagruzok* [Calculation of short-term flicker dose arising from stochastic changes in rapidly changing electrical loads]. The Certificate on official registration of the computer program. No. 2017612538, 2017.
4. Dobbeler A., Engels R., Matchullat T., Mojzel V., Riger D. *Sposob umen'sheniya flikera v elek-trodugovykh pechakh i ustroystvo dlya ego osushchestvleniya* [Method of reducing flicker in electric arc furnaces and device for its implementation]. Patent RF, no. 2606672, 2017.
5. Kornilov G.P., Barankova I.I., Lukyanov G.I., Karyakin A.L. *Raschet kratkovremennoi dozy flikera v elektricheskikh setyakh predpriyatii* [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.
6. Ponomarev V.A. *Modelirovanie elektricheskoi dugovoi pechi i vliyanie flikera na kachestvo elektroenergii v pakete prikladnykh programm MATLAB / SIMULINK* [Modeling of an electric arc furnace and the effect of flicker on the quality of electric power in the MATLAB / SIMULINK]. *Studencheskii vestnik*, 2018, no. 23-2 (43), pp. 89–93. (In Russian).
7. Lisitskii K.E. *Sovershenstvovanie metodov otsenki flikera v elektricheskikh setyakh*. Avtoref. dis. kand. tekhn. nauk [Improving methods for assessing flicker in electrical networks. Author's abstract of PhD eng. sci. diss.]. Irkutsk, 2017. 28 p.
8. Matinyan A.M., Kiselev A.N., Drozdov A.V. *Sravnitel'nyi analiz podavleniya flikera staticheskim tiristornym kompensatorom i aktivnym fil'trokompensiruyushchim ustroystvom* [A comparative analysis of flicker suppression by a static thyristor compensator and an active filtering and compensating device]. *Elektrichestvo = Electricity*, 2014, no. 12, pp. 4–13.
9. Buyantuyev S.L., Malykh A.V., Pashinskiy S.G., Ivanov A.A., Kitayev V.V. *Elektromagnitnyi tekhnologicheskii reaktor* [Electromagnet process reactor]. Patent RF no. 2432719, 2011.
10. GOST IEC/TS 61000-3-5–2013. *Sovmestimost' tekhnicheskikh sredstv elektromagnitnaya. Ogranichenie kolebaniy napryazheniya i flikera, vyzyvayemykh tekhnicheskimi sredstvami s nominal'nym tokom bolee 75 A, podklyuchaemymi k nizkovol'nym sistemam elektro-snabzheniya. Normy i metody ispytaniy* [State Standard IEC/TS 61000-3-5–2013. Electromagnetic compatibility of technical equipment. Limitation of voltage fluctuations and flicker caused by technical equipment with a rated current of more than 75 A connected to low-voltage power supply systems. Standards and test methods]. Available at: <https://docs.cntd.ru/document/1200105739> (accessed 17.06.2025).
11. Buyantuev S.L., Shishul'kin S.Yu., Malykh A.V., Ivanov A.A., Pedynin V.V. *Plazmennyy sposob polucheniya mineral'noi vaty iz zoloshlakovykh otkhodov musororzhigatel'nykh zavodov i ustanovka dlya ego osushchestvleniya* [Plasma method for producing mineral wool from ash and slag waste of waste incineration plants and installation for its implementation]. Patent RF no. 2764506, 2022.
12. GOST 30804.3.12–2013. *Sovmestimost' tekhnicheskikh sredstv elektromagnitnaya. Normy garmonicheskikh sostavlyayushchikh toka, sozdavaemykh tekhnicheskimi sredstvami s potrebyaemym tokom bolee 16 A, no ne bolee 75 A (v odnoi faze), podklyuchaemymi k nizkovol'nym raspreditel'nym sistemam elektro-snabzheniya. Normy i metody ispytaniy* [State Standard 30804.3.12–2013. Electromagnetic com-

patibility of technical equipment. Standards for harmonic components of current generated by technical equipment with a consumed current exceeding 16 A but not exceeding 75 A (in one phase), connected to low-voltage power distribution systems. Standards and test methods]. Available at: <https://docs.cntd.ru/document/1200104833> (accessed 17.06.2025).

13. GOST IEC 61000-3-3–2015. *Elektromagnitnaya sovmestimost' (EMS). Chast' 3-3. Normy. Ogranichenie izmenenii napryazheniya, kolebanii napryazheniya i flikera v obshchestvennykh nizkovol'tnykh sistemakh elektrosnabzheniya dlya oborudovaniya s nominal'nym tokom ne bolee 16 A (v odnoi faze), podklyuchaemogo k seti elektropitaniya bez osobykh uslovii* [State Standard IEC 61000-3-3–2015. Electromagnetic compatibility (EMC). Part 3-3. Limits, Limitation of voltage variations, voltage fluctuations and flicker in public low-voltage power supply systems for equipment with a rated current of not more than 16 A (in one phase), connected to the power supply network without special conditions]. Available at: <https://docs.cntd.ru/document/1200123260> (accessed 17.06.2025).

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ



Шишулькин Станислав Юрьевич – родился в 1983 году, канд. техн. наук, доцент, заведующий кафедрой инновационных технологий и наукоемких отраслей ФГБОУ ВО «Бурятский государственный университет имени Доржи Банзарова». Область научных интересов: физика плазмы, энергетика. Опубликовано 61 научная работа. (Адрес: 67000, Россия, Улан-Удэ, Смолина, 24а. E-mail: voin-spec@yandex.ru).

Shishulkin Stanislav Yurievich (b. 1983) – Candidate of Sciences (Eng.), associate professor, Head of the Department of Innovative technologies and science-intensive industries of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Banzarov Buryat State University». His research interests are currently focused on plasma physics and thermal engineering. He is author of 61 scientific papers. (Address: 24a, Smoliba, Ulan-Ude, 670000, Russia. E-mail: voin-spec@yandex.ru).



Чан Фонг Лыу – родился в 1993 году, аспирант кафедры электроснабжения промышленных предприятий и сельского хозяйства Восточно-Сибирского государственного университета технологий и управления. Область научных интересов: плазменная технология переработка бытового мусора, минеральные утеплители и изделия. Опубликовано 6 научных работ. (Адрес: 670013, Россия, Улан-Удэ, ул. Ключевская, 40В. E-mail: tranluuphong66@gmail.com).

Tran Phong Luu (b. 1993) postgraduate student at the power supply of industrial enterprises and agriculture department, East Siberia State University of Technology and Management. His research interests are currently focused on plasma technology for recycling household waste, mineral insulation materials and products. He is author 6 scientific papers (Address: 40V, Klyuchevskaya, Ulan-Ude, 670013, Russia. E-mail: tranluuphong66@gmail.com).



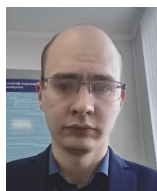
Баташов Александр Ильич – родился в 1950 году, канд. техн. наук, доцент. Область научных интересов: исследования в области электромагнитной совместимости объектов электроэнергетической системы и систем электроснабжения. Опубликовано 70 научных работ. (Адрес: 670013, Россия, Улан-Удэ, ул. Ключевская, 40В. E-mail: abatashov@mail.ru).

Batashov Alexander Ilyich (b. 1950) – candidate of sciences (Eng.), associate professor. His research interests are currently focused on researches in the field of power system objects and electrical supply systems electromagnetic compatibility. He is author of 70 scientific papers. (Address: 40V, Klyuchevskaya, Ulan-Ude, 670013, Russia. E-mail: abatashov@mail.ru).



Чередов Эдуард Николаевич – родился в 1982 году, старший преподаватель кафедры электроснабжения промышленных предприятий и сельского хозяйства Восточно-Сибирского государственного университета технологий и управления. Область научных интересов: исследования в области электромагнитной совместимости объектов электроэнергетической системы и систем электроснабжения. Опубликовано 8 научных работ. (Адрес: 670013, Россия, Улан-Удэ, ул. Ключевская, 40В. E-mail: en82@rambler.ru).

Cheredov Eduard Nickolaevich (b. 1982) – senior lecturer at the Electrical supply of industrial and agricultural enterprises department, East Siberia state university of technology and management. His research interests are currently focused on researches in the field of power system objects and electrical supply systems electromagnetic compatibility. He is author of 8 scientific papers. (Address: 40V, Klyuchevskaya, Ulan-Ude, 670013, Russia. E-mail: en82@rambler.ru).



Девятков Артем Геннадьевич – родился в 1994 году, аспирант кафедры инновационных технологий и наукоемких отраслей ФГБОУ ВО «Бурятский государственный университет имени Доржи Банзарова». Область научных интересов: плазменно-электродуговые технологии утилизации промышленных и твердых коммунальных отходов. Опубликовано 3 научные работы. (Адрес: 67000, Россия, Улан-Удэ, Смолина, 24а. E-mail: devyatov1994@list.ru).

Devyatov Artem Gennadievich (b. 1994) postgraduate student at the Department of Innovative technologies and science-intensive industries of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Banzarov Buryat State University». Research interests: plasma-electric arc technologies for the disposal of industrial and municipal solid waste. He is author of 3 scientific papers. (Address: 24a, Smolina, Ulan-Ude, 670000, Russia. E-mail: devyatov1994@list.ru).



Москвитин Александр Александрович – родился в 1998 году, аспирант кафедры электроснабжения промышленных предприятий и сельского хозяйства Восточно-Сибирского государственного университета технологий и управления. Область научных интересов: электротехнологии и электрофизика. Опубликовано одна научная работа. (Адрес: 670013, Россия, Улан-Удэ, ул. Ключевская, 40В. E-mail: alex_moskva525@mail.ru).

Moskvitin Alexander Alexandrovich (b. 1998), postgraduate student at the power supply of industrial enterprises and agriculture department. East Siberia state university of technology and management. His research interests are electrotechnology and electrophysics. He is author 1 scientific papers (Address: 40V, Klyuchevskaya, Ulan-Ude, 670013, Russia. E-mail: alex_moskva525@mail.ru).

Статья поступила 22 мая 2025 г.

Received May 22, 2025.

To Reference:

Shishulkin S.Yu., Tran Ph.L., Batashov A.I., Cheredov E.N., Devyatov A.G., Moskvitin A.A. Issledovanie emissii pomekh, obuslovlennykh flikerom pri rabote elektromagnitnogo tekhnologicheskogo reaktora [Study of emission of interference caused by flicker during operation of electromagnetic technological reactor]. *Doklady Akademii nauk vysshei shkoly Rossiiskoi Federatsii = Proceedings of the Russian Higher School Academy of Sciences*, 2025, no. 2 (67), pp. 51–68. DOI: 10.17212/1727-2769-2025-2-51-68.