

## ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ОСВЕТИТЕЛЬНОЙ НАГРУЗКИ НА ПОКАЗАТЕЛИ НЕСИНУСОИДАЛЬНОСТИ НАПРЯЖЕНИЯ И ПОТРЕБЛЯЕМОГО ТОКА

О.Г. Широков, Т.В. Алферова, В.В. Бахмутская, И.Ю. Юрлов  
УО «ГГТУ им. П.О. Сухого», г.Гомель Республика Беларусь

*Аннотация.* Статья посвящена исследованию влияния осветительных приборов со светодиодными и галогенными источниками света, предназначенных для сценического, театрального и постановочного освещения, праздничных мероприятий на показатели несинусоидальности напряжения и потребляемого тока. Определены значения показателей несинусоидальности напряжения и тока и выполнена оценка соответствия высших гармоник тока в точке питания осветительных приборов со светодиодными и галогенными источниками света требованиям ГОСТ30804.3.2—2013 (IEC 61000-3-2:2009), которая показала превышение норм по отдельным гармоническим составляющим тока, потребляемого светодиодными осветительными приборами.

*Ключевые слова:* показатели качества электрической энергии, суммарный коэффициент гармонических составляющих напряжения, суммарный коэффициент гармонических составляющих тока, осветительные приборы со светодиодными и галогенными источниками света.

**Введение.** В настоящее время повсеместно расширяется применение осветительных приборов со светодиодными и галогенными источниками света, используемыми в качестве фасадного, промышленного, магистрального и уличного освещения [1,2,3]. Однако, производители этого осветительного оборудования в технических характеристиках не указывают характер его влияния на качество электрической энергии и на соответствие требованиям нормативных документов, регламентирующих уровни электромагнитной совместимости. Снижение качества электроэнергии оказывает негативное влияние на работу электрооборудования, сокращая срок его службы, приводит к увеличению потерь напряжения и мощности в сети, уменьшению ее пропускной способности. В такой ситуации работы, направленные на оценку влияния осветительной нагрузки на показатели несинусоидальности напряжения и потребляемого тока являются актуальными.

Целью работы является оценка влияния осветительных

приборов со светодиодными и галогенными источниками света, предназначенных для сценического, театрального и постановочного освещения, на показатели несинусоидальности напряжения и потребляемого тока.

**Основная часть. Оценка показателей несинусоидальности напряжения и тока, потребляемого осветительными приборами со светодиодными и галогенными источниками света, предназначенными для сценического, театрального и постановочного освещения.**

В настоящее время измерения напряжения гармонических составляющих должны проводиться в соответствии с требованиями ГОСТ 30804.4.7-2013 [6], однако, с учетом допущений, разрешаемых ГОСТ 32144-2013 [4] и ГОСТ 30804.4.30-2013 [5] (измерения класса В), некоторые задачи приборного контроля качества электрической энергии могут решаться с помощью существующих средств измерения параметров электрической энергии.

В данной работе оценивалось влияние на показатели несинусоидальности напряжения и потребляемого тока следующих осветительных приборов со светодиодными и галогенными источниками света, предназначенных для сценического, театрального и постановочного освещения:

- прожектор галогенный PG 500 Ultralight, мощностью 500 Вт;
- прожектор Swarm FX5, мощностью 66Вт;
- светодиодный прожектор Showtec Par 64 Short, RGB LED, мощностью 30 Вт;
- лазер Reke 91s, мощностью 30 Вт.

Значение показателей несинусоидальности напряжения и тока, потребляемого осветительными приборами, оценивалось на основании измерительной информации, полученной с помощью "Комплекса регистрации параметров электрических сигналов" (КРПЭС), подключенного по схеме, представленной на рисунке 1, где ТТ – измерительный трансформатор тока; ИПТ – измерительный преобразователь тока; ИПН – измерительный преобразователь напряжения; АЦП – аналого-цифровой преобразователь.

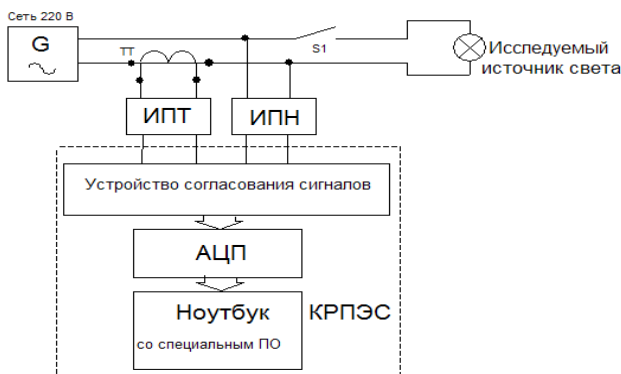


Рисунок 1 – Схема определения влияния осветительной нагрузки на показатели несинусоидальности напряжения и потребляемого тока

В соответствии с ГОСТ 30804.4.7-2013, суммарный коэффициент гармонических составляющих (total harmonic distortion, THD)  $THD_Y$ : отношение среднеквадратичного значения суммы всех гармонических составляющих  $Y_{H,h}$  до порядка  $h_{max}$  к среднеквадратичному значению основной составляющей  $Y_{H,1}$ .

$$THD_Y = \sqrt{\sum_{h=2}^{h_{max}} \left( \frac{Y_{H,h}}{Y_{H,1}} \right)^2} \quad (1)$$

При необходимости  $Y$  символ заменяют символом  $I$  для тока и символом  $U$  для напряжения,  $h_{max}$  принимают равным 40, если иное значение не установлено в международных стандартах, устанавливающих нормы эмиссии гармоник.

В соответствии с ГОСТ 30804.4.7-2013, суммарный коэффициент гармонических составляющих напряжения  $K_U$  рассчитывается по формуле

$$K_U = \sqrt{\sum_{h=2}^{h_{40}} \left( \frac{U_{H,h}}{U_{H,1}} \right)^2} \quad (2)$$

В соответствии с ГОСТ 30804.4.7-2013, суммарный коэффициент гармонических составляющих тока  $THD_I$  рассчитывается по формуле

$$THD_I = \sqrt{\sum_{h=2}^{h_{40}} \left( \frac{I_{H,h}}{I_{H,1}} \right)^2} \quad (3)$$

В соответствии с межгосударственным стандартом ГОСТ 30804.3.2—2013 (IEC 61000-3-2:2009) [7] световое оборудование по классификации технических средств (ТС) относится к классу С. В п.7.3 [7] регламентированы нормы гармонических составляющих тока для ТС класса С при активной потребляемой мощности, превышающей 25 Вт, которые не должны превышать значений, приведенных в таблице 1.

Таблица 1 – Нормы гармонических составляющих тока для ТС класса С

| Порядок гармонической составляющей n                         | Максимальное допустимое значение гармонической составляющей тока, % от основной гармонической составляющей потребляемого тока |
|--|---|
| 2  | 2   |
| 3  | 30·λ*   |
| 5  | 10  |
| 7  | 7   |
| 9  | 5   |
| 11 < n < 39 (только для нечетных гармонических составляющих) | 3   |
| * Коэффициент мощности цепи.                                 |   |

На рисунке 2 представлена осциллограмма напряжения и тока в точке питания прожектора галогенового PG 500 Ultralight.

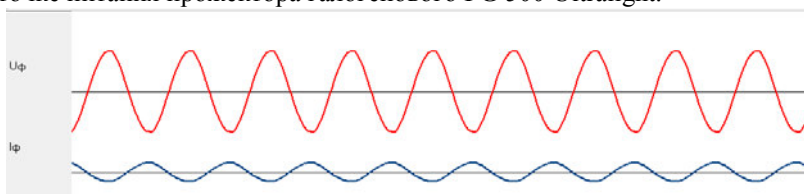


Рисунок 2 – Осциллограмма напряжения и тока в точке питания прожектора галогенового PG 500 Ultralight

Суммарный коэффициент гармонических составляющих напряжения в точке питания прожектора галогенового PG 500 Ultralight  $K_U$ , согласно формуле 2, составляет:  $K_U = 0,03\%$ .

В таблице 2 представлен спектр гармоник тока в точке питания прожектора галогенового PG 500 Ultralight

Таблица 2 – Спектр гармоник тока в точке питания прожектора галогенового PG 500 Ultralight

| №  | Спектр, о.е. | №  | Спектр, о.е. | №  | Спектр, о.е. |
|----|--------------|----|--------------|----|--------------|
| 1  | 0,9894266    | 15 | 0,0000005    | 29 | 0,0000001    |
| 2  | 0,0000042    | 16 | 0,0000000    | 30 | 0,0000000    |
| 3  | 0,0004337    | 17 | 0,0000003    | 31 | 0,0000000    |
| 4  | 0,0000001    | 18 | 0,0000000    | 32 | 0,0000000    |
| 5  | 0,0000059    | 19 | 0,0000012    | 33 | 0,0000001    |
| 6  | 0,0000001    | 20 | 0,0000000    | 34 | 0,0000000    |
| 7  | 0,0000023    | 21 | 0,0000014    | 35 | 0,0000001    |
| 8  | 0,0000000    | 22 | 0,0000000    | 36 | 0,0000000    |
| 9  | 0,0000286    | 23 | 0,0000006    | 37 | 0,0000003    |
| 10 | 0,0000001    | 24 | 0,0000000    | 38 | 0,0000000    |
| 11 | 0,0000117    | 25 | 0,0000002    | 39 | 0,0000003    |
| 12 | 0,0000000    | 26 | 0,0000000    | 40 | 0,0000000    |
| 13 | 0,0000143    | 27 | 0,0000005    |    |              |
| 14 | 0,0000001    | 28 | 0,0000000    |    |              |

Суммарный коэффициент гармонических составляющих тока в точке питания прожектора галогенового PG 500 Ultralight  $THD_I$  согласно формуле 3 составляет:  $THD_I = 0,044\%$ .

Оценка соответствия высших гармоник тока в точке питания прожектора галогенового PG 500 Ultralight требованиям ГОСТ30804.3.2—2013 (IEC 61000-3-2:2009) показала, что гармонические составляющие тока, рассматриваемого ТС класса С не превышают установленных максимально допустимых значений.

На рисунке 3 представлена осциллограмма напряжения и тока в точке питания прожектора Swarm FX5.

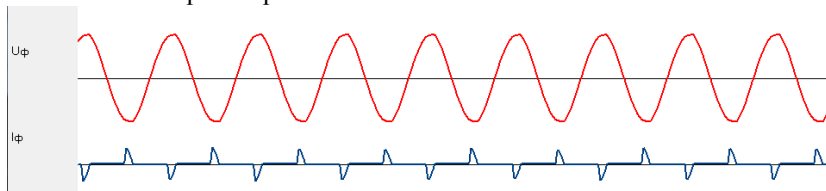


Рисунок 3 – Осциллограмма напряжения и тока в точке питания прожектора Swarm FX5

Суммарный коэффициент гармонических составляющих напряжения в точке питания прожектора Swarm FX5  $K_U$ , согласно

формуле 2, составляет:  $K_U = 0,03\%$ .

В таблице 3 и на рисунке 4 представлен спектр гармоник тока в точке питания проектора Swarm FX5.

Суммарный коэффициент гармонических составляющих тока  $THD_I$  в точке питания проектора Swarm FX5 согласно формуле 3 составляет:  $THD_I = 112,6\%$ .

На рисунке 5 представлен график оценки соответствия высших гармоник тока в точке питания проектора Swarm FX5 требованиям ГОСТ30804.3.2—2013 (IEC 61000-3-2:2009), который показывает, что 3, 5, 7, 9, 11 гармонические составляющие тока, рассматриваемого ТС класса С превышают установленные максимально допустимые значения.

Таблица 3 – Спектр гармоник тока в точке питания проектора Swarm FX5.

| №  | Спектр, о.е. | №  | Спектр, о.е. | №  | Спектр, о.е. |
|----|--------------|----|--------------|----|--------------|
| 1  | 0,259144     | 15 | 0,003582     | 29 | 0,000781     |
| 2  | 0,000231     | 16 | 0,000034     | 30 | 0,000000     |
| 3  | 0,236504     | 17 | 0,004396     | 31 | 0,000643     |
| 4  | 0,000172     | 18 | 0,000014     | 32 | 0,000000     |
| 5  | 0,129452     | 19 | 0,004283     | 33 | 0,000279     |
| 6  | 0,000131     | 20 | 0,000013     | 34 | 0,000000     |
| 7  | 0,098613     | 21 | 0,002746     | 35 | 0,000045     |
| 8  | 0,000055     | 22 | 0,000010     | 36 | 0,000000     |
| 9  | 0,048034     | 23 | 0,000972     | 37 | 0,000025     |
| 10 | 0,000082     | 24 | 0,000006     | 38 | 0,000000     |
| 11 | 0,018299     | 25 | 0,000344     | 39 | 0,000109     |
| 12 | 0,000023     | 26 | 0,000005     | 40 | 0,000000     |
| 13 | 0,005869     | 27 | 0,000555     |    |              |
| 14 | 0,000021     | 28 | 0,000005     |    |              |

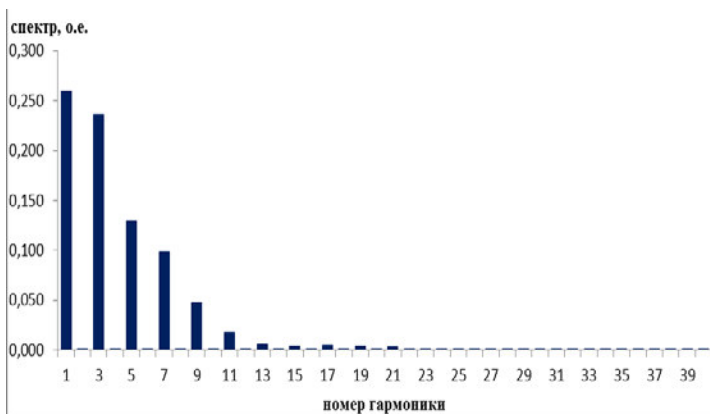


Рисунок 4 – Спектр гармоник тока в точке питания прожектора Swarm FX5

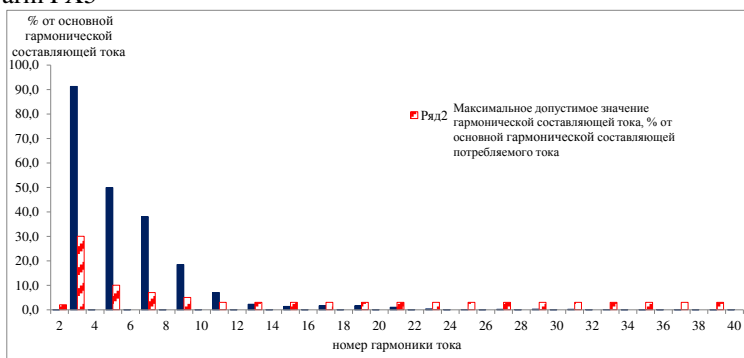


Рисунок 5 – Оценка соответствия высших гармоник тока в точке питания прожектора Swarm FX5 требованиям ГОСТ30804.3.2—2013 (IEC 61000-3-2:2009)

На рисунке 6 представлена осциллограмма напряжения и тока в точке питания светодиодного прожектора Showtec Par 64 Short, RGB LED.

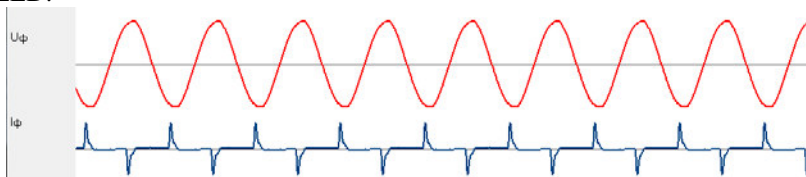


Рисунок 6 – Осциллограмма напряжения и тока в точке питания светодиодного прожектора Showtec Par 64 Short, RGB LED

Суммарный коэффициент гармонических составляющих

напряжения в точке питания светодиодного прожектора Showtec Par 64 Short, RGB LED  $K_U$ , согласно формуле 2, составляет:  $K_U = 0,03\%$ .

В таблице 4 и на рисунке 7 представлен спектр гармоник тока в точке питания светодиодного прожектора Showtec Par 64 Short, RGB LED.

Таблица 6 –Спектр гармоник тока в точке питания светодиодного прожектора Showtec Par 64 Short, RGB LED.

| №  | Спектр, о.е. | №  | Спектр, о.е. | №  | Спектр, о.е. |
|----|--------------|----|--------------|----|--------------|
| 1  | 0,259144     | 15 | 0,003582     | 29 | 0,000781     |
| 2  | 0,000231     | 16 | 0,000034     | 30 | 0,000000     |
| 3  | 0,236504     | 17 | 0,004396     | 31 | 0,000643     |
| 4  | 0,000172     | 18 | 0,000014     | 32 | 0,000000     |
| 5  | 0,129452     | 19 | 0,004283     | 33 | 0,000279     |
| 6  | 0,000131     | 20 | 0,000013     | 34 | 0,000000     |
| 7  | 0,098613     | 21 | 0,002746     | 35 | 0,000045     |
| 8  | 0,000055     | 22 | 0,000010     | 36 | 0,000000     |
| 9  | 0,048034     | 23 | 0,000972     | 37 | 0,000025     |
| 10 | 0,000082     | 24 | 0,000006     | 38 | 0,000000     |
| 11 | 0,018299     | 25 | 0,000344     | 39 | 0,000109     |
| 12 | 0,000023     | 26 | 0,000005     | 40 | 0,000000     |
| 13 | 0,005869     | 27 | 0,000555     |    |              |
| 14 | 0,000021     | 28 | 0,000005     |    |              |

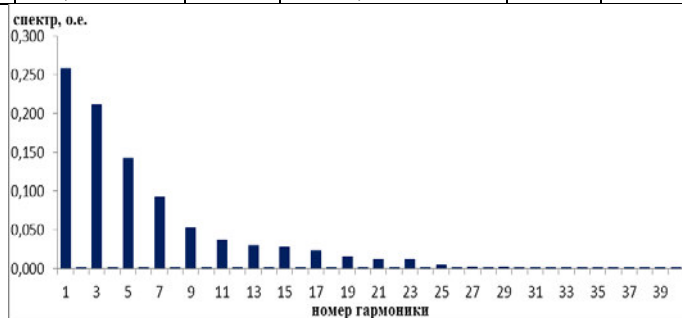


Рисунок 7 – Спектр гармоник тока в точке питания светодиодного прожектора Showtec Par 64 Short, RGB LED

Суммарный коэффициент гармонических составляющих тока  $THD_I$  в точке питания светодиодного прожектора Showtec Par 64 Short, RGB LED согласно формуле 3 составляет:  $THD_I = 110,15\%$ .



На рисунке 8 представлен график оценки соответствия высших гармоник тока в точке питания светодиодного прожектора Showtec Par 64 Short, RGB LED требованиям ГОСТ30804.3.2—2013 (IEC 61000-3-2:2009), который показывает, что 3, 5, 7, 9, 11, 13, 15, 17, 19, 21, 23 гармонические составляющие тока, рассматриваемого ТС класса С превышают установленные максимально допустимые значения.

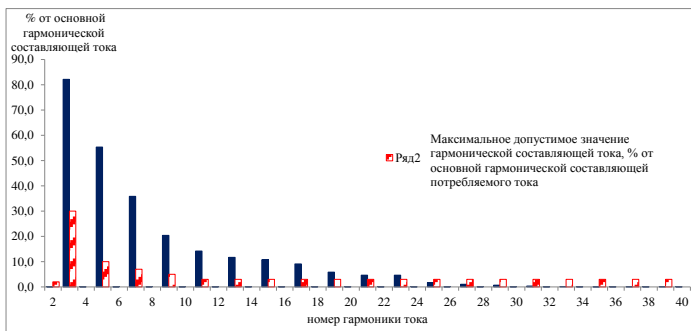


Рисунок 8 – Оценка соответствия высших гармоник тока в точке питания светодиодного прожектора Showtec Par 64 Short, RGB LED требованиям ГОСТ30804.3.2—2013 (IEC 61000-3-2:2009)

На рисунке 9 представлена осциллограмма напряжения и тока в точке питания светового прибора "Лазер Reke 91S".

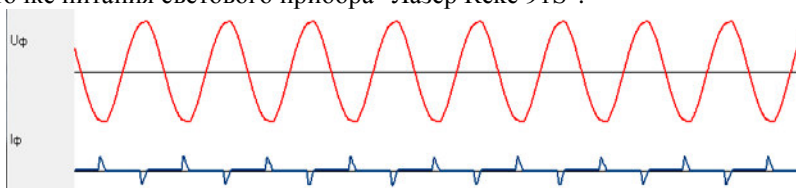


Рисунок 9 – Осциллограмма напряжения и тока в точке питания светового прибора "Лазер Reke 91S"

Суммарный коэффициент гармонических составляющих напряжения в точке питания светового прибора "Лазер Reke 91S"  $K_U$ , согласно формуле 2, составляет:  $K_U = 0,03\%$ .

В таблице 5 и на рисунке 10 представлен спектр гармоник тока в точке питания светового прибора "Лазер Reke 91S".

Суммарный коэффициент гармонических составляющих тока  $THD_I$  в точке питания светового прибора "Лазер Reke 91S" согласно формуле 3 составляет:  $THD_I = 113,01\%$ .

Таблица 5 –Спектр гармоник тока в точке питания светового прибора "Лазер Reke 91S".

| №  | Спектр, о.е. | №  | Спектр, о.е. | №  | Спектр, о.е. |
|----|--------------|----|--------------|----|--------------|
| 1  | 0,2634530    | 15 | 0,0098539    | 29 | 0,0004922    |
| 2  | 0,0000683    | 16 | 0,0000949    | 30 | 0,0000081    |
| 3  | 0,2139534    | 17 | 0,0076428    | 31 | 0,0004063    |
| 4  | 0,0000378    | 18 | 0,0000828    | 32 | 0,0000061    |
| 5  | 0,1630188    | 19 | 0,0065033    | 33 | 0,0003432    |
| 6  | 0,0000624    | 20 | 0,0000630    | 34 | 0,0000035    |
| 7  | 0,1043139    | 21 | 0,0052887    | 35 | 0,0002324    |
| 8  | 0,0000330    | 22 | 0,0000413    | 36 | 0,0000032    |
| 9  | 0,0619806    | 23 | 0,0034013    | 37 | 0,0000556    |
| 10 | 0,0000966    | 24 | 0,0000213    | 38 | 0,0000042    |
| 11 | 0,0326433    | 25 | 0,0016826    | 39 | 0,0000152    |
| 12 | 0,0001016    | 26 | 0,0000122    | 40 | 0,0000026    |
| 13 | 0,0160065    | 27 | 0,0008790    |    |              |
| 14 | 0,0001078    | 28 | 0,0000071    |    |              |

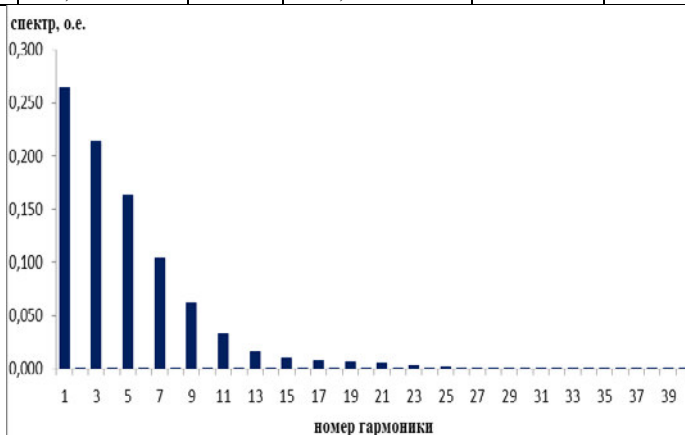


Рисунок 10 – Спектр гармоник тока в точке питания светового прибора "Лазер Reke 91S"

На рисунке 11 представлен график оценки соответствия высших гармоник тока в точке питания светового прибора "Лазер Reke 91S" требованиям ГОСТ30804.3.2—2013 (IEC 61000-3-2:2009), который показывает, что 3, 5, 7, 9, 11, 13, 15 гармонические составляющие тока,

рассматриваемого ТС класса С превышают установленные максимально допустимые значения.

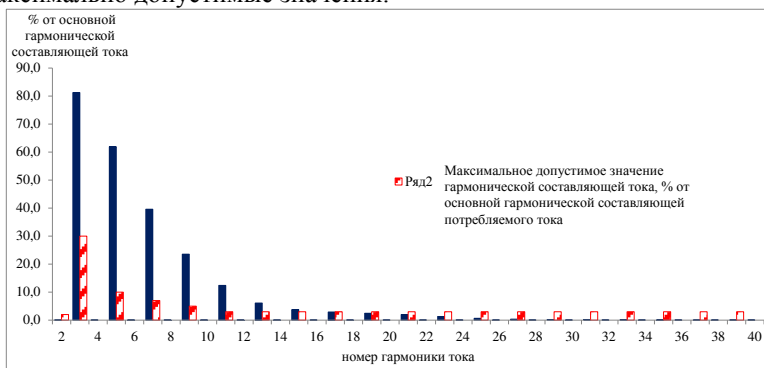


Рисунок 11 – Оценка соответствия высших гармоник тока в точке питания светового прибора "Лазер Reke 91S" требованиям ГОСТ30804.3.2—2013 (IEC 61000-3-2:2009)

**Выводы.** Влияние прожектора галогенного PG 500 Ultralight, мощностью 500 Вт на показатели несинусоидальности напряжения и потребляемого тока крайне незначительны, поскольку суммарные коэффициенты гармонических составляющих тока и напряжения составили соответственно  $THD_I = 0,044\%$  и  $K_U = 0,03\%$ .

Гармонические составляющие тока, потребляемого проектором Swarm FX5, светодиодным прожектором Showtec Par 64 Short, RGB LED, лазером Reke 91s превышают установленные ГОСТ30804.3.2—2013 (IEC 61000-3-2:2009) максимально допустимые значения для технических средств класса С при активной потребляемой мощности, превышающей 25 Вт. При этом, суммарные коэффициенты гармонических составляющих тока  $THD_I$ , потребляемого указанными источниками, соответственно составляют  $THD_I = 112,6 \%$ ,  $110,15\%$ ,  $113,01\%$ . При этом, влияние на кривую напряжения в точке питания этих световых приборов практически отсутствует, поскольку суммарный коэффициент гармонических составляющих напряжения  $K_U = 0,03\%$ . Тем не менее, в случае достаточного увеличения доли таких электроприемников, следует ожидать заметного их влияния на несинусоидальность напряжения.

#### Список использованных источников:

1. Закгейм, А.А. Светодиодные системы освещения: эффективность, зрительное восприятие, безопасность для здоровья (обзор)/ А.Л. Закгейм // Светотехника.–2012. - № 6.– С.12-20.
2. Радкевич В.Н. Электрическое освещение: справочник / В.Н.

Радкевич, В.Б. Козловская, В.Н. Сацкевич. – Минск: Технперспектива, 2007. - 225 с.

3 Журавкин, А.Ш. Руководство по устройству электроустановок / А.Ш. Журавкин, // Технические решения Schneider Electric.–2013.-№1 – С. 1-77.

4. ГОСТ 32144- 2013. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения (EN 50160:2010, NEQ). Госстандарт Республики Беларусь. 2015.

5. ГОСТ 30804.4.30-2013 (IEC 61000-4-30:2008) Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Методы измерений показателей качества электрической энергии. Госстандарт Республики Беларусь. 2014.

6. ГОСТ 30804.4.7-2013 (IEC 61000-4-7:2009) Совместимость технических средств электромагнитная. Общее руководство по средствам измерений и измерениям гармоник и интергармоник для систем электроснабжения и подключаемых к ним технических средств. Госстандарт Республики Беларусь. 2014.

7. Межгосударственный стандарт ГОСТ30804.3.2—2013 (IEC 61000-3-2:2009) Совместимость технических средств электромагнитная. Эмиссия гармонических составляющих тока техническими средствами с потребляемым током не более 16А (в одной фазе). Нормы и методы испытаний. (IEC 61000-3-2:2009, MOD) Москва, Стандартинформ, 2014.

## ASSESSMENT OF THE IMPACT OF LIGHTING LOAD ON THE INDICES OF NON-SINUSOIDAL VOLTAGE AND CONSUMED CURRENT

O. G. Shirokov, T. V. Alferova, V. V. Bakhmutskaya, I. Yu. Yurlov

EE "Gomel State Technical University named after P.O. Sukhoy ", Gomel, Republic of Belarus

Abstract. The article is devoted to the study of the influence of lighting devices with LED and halogen light sources intended for stage, theater and stage lighting, festive events on the indices of non-sinusoidal voltage and current consumption. The values of non-sinusoidal voltage and

current indices are determined and the conformity of the highest current harmonics at the power supply point of the lighting devices with LED and halogen light sources to the requirements of GOST30804 is estimated.3.2-2013 (IEC 61000-3-2:2009), which showed the excess of the norms for individual harmonic components of the current consumed by led lighting devices.

Keywords: power quality indices, total coefficient of voltage harmonic components, total coefficient of current harmonic components, lighting devices with LED and halogen light sources.