

УДК 628.984

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РАЗЛИЧНЫХ ИСТОЧНИКОВ СВЕТА И ОЦЕНКА ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ СОВМЕСТИМОСТИ БЕЗЭЛЕКТРОДНЫХ (ИНДУКЦИОННЫХ) И СВЕТОДИОДНЫХ ИСТОЧНИКОВ СВЕТА

Л. И. ЕВМИНОВ, В. С. КИЗЕВА

*Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого»,
Республика Беларусь*

Введение

Пятая часть производимой в мире электрической энергии расходуется на освещение улиц населенных пунктов, промышленных предприятий, предприятий торговли и т. д. Такие большие затраты электроэнергии связаны в основном с применением устаревших источников света. Однако прогресс в создании новых высокоэффективных источников света дает возможность кардинального решения проблемы расхода электроэнергии на освещение. Проблема энергосбережения в начале XXI в. приобрела особую актуальность. В настоящее время предпринимаются усилия по внедрению инновационных решений и технологий, позволяющих сократить потребление электроэнергии. Так, в последнее время во многих странах мира происходит постепенное вытеснение ламп накаливания.

В связи с постоянным ростом потребностей людей в использовании искусственного освещения остро стоит вопрос о высокоэффективных источниках света, которые смогли бы не только удовлетворить спрос на качественное освещение, но и обеспечить минимальные затраты электроэнергии.

В настоящее время стала популярной тема светодиодных светильников. Именно это направление в освещении считается наиболее перспективным. Однако многие приписываемые светодиодам достоинства на практике не оправдываются.

Основным аргументом против их массового внедрения считают лишь высокую стоимость. Но помимо этого существует еще целый ряд недостатков, о которых умалчивают производители светодиодов.

Так, одним из существенных недостатков использования светодиодов для освещения является необходимость отвода тепла. Увеличение температуры $p-n$ -перехода приводит к снижению яркости свечения и смещению рабочей длины волны. При недостаточном теплоотводе происходит испарение кристалла, т. е. его деградация.

Другой недостаток светодиодных источников света (СД ИС), которому пока не придают должного значения, – воздействие на зрение человека. Информация о вредном воздействии СД ИС на человеческий глаз отсутствует, так как серьезных исследований в этой области не проводилось. Применение точечных источников света создает зоны яркой светимости, что, в свою очередь, повышает показатели ослепленности и дискомфорта [1]. Чтобы добиться равномерного распределения светового потока СД ИС, в настоящее время применяют рассеиватели, что приводит к значительному увеличению стоимости светодиодного светильника. Помимо этого СД ИС имеют пульсацию освещенности в заданной точке помещения при питании непосредственно от сети переменного тока. Известно, что пульсирующий свет не только приводит к повышенной опас-

ности травматизма при работе с движущимися объектами, но и вызывает постоянные сокращения ресничной мышцы, что приводит к развитию близорукости.

В настоящее время светодиоды позиционируют как экологически чистые приборы, не требующие утилизации [1]. Но на сегодняшний день не проводилось исследований, связанных с попаданием отработанных светодиодов в окружающую среду. А с учетом того, что в будущем прогнозируют рост объемов использования СД ИС, рано или поздно мы столкнемся с проблемой утилизации светодиодов.

В настоящее время СД ИС в основном применяют для декоративной, акцентирующей подсветки.

Между тем, существуют источники света, которые в настоящий момент имеют лучшие технические характеристики, чем светодиоды, и примерно в три раза дешевле их. Это безэлектродные (индукционные) источники света с индукционными лампами.

В статье выполнена сравнительная оценка основных источников света по следующим показателям: срок службы источника света; потребление электроэнергии; нагрузка на электросети; коэффициент пульсации; экологическая безопасность светильника; вес светильника; время пуска источника света; температурные режимы работы во время эксплуатации; коэффициент мощности; цветовая температура; потеря светового потока; стоимость.

Также в работе проведена оценка электромагнитной совместимости светодиодных источников света и индукционных ламп с системой электроснабжения. В настоящее время это является актуальной задачей, так как ожидается увеличение доли электроэнергии, расходуемой как на светодиодное освещение, так и на освещение с применением индукционных источников света.

Основная часть

Индукционные лампы. Общие сведения

Индукционная лампа (ИЛ) – энергосберегающий источник света, принцип работы которого основан на электромагнитной индукции и газовом разряде для генерации видимого света.

ИЛ представляет собой безэлектродную лампу (отсутствие нитей накала, электродов), состоящую из колбы, наполненной газом, внутренняя поверхность которой покрыта люминофором [2]. Свечение люминофора происходит благодаря электромагнитной индукции. В этих источниках света для получения светового излучения используются два физических процесса: электромагнитная индукция и электрический разряд в газе. Именно это существенно отличает данные источники от обычных люминесцентных ламп. Электронный источник питания ИЛ вырабатывает высокочастотный ток, протекающий по индукционной катушке на магнитном кольце или стержне. Электромагнит и индукционная катушка создают газовый разряд в высокочастотном электромагнитном поле, и под воздействием ультрафиолетового излучения разряда происходит свечение люминофора.

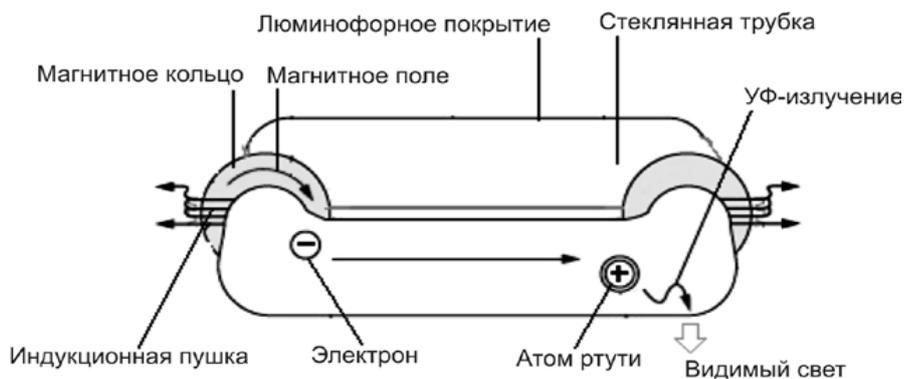


Рис. 1. Внешний вид и принцип работы индукционной лампы

Конструктивно и по принципу работы лампа напоминает трансформатор, где имеется первичная обмотка с высокочастотным током и вторичная обмотка, которая представляет собой газовый разряд, происходящий в стеклянной трубке.

Прямой экономией является не только сбережение электроэнергии, но и срок службы энергосберегающих ламп [3], [4]. Отсутствие у ламп электродов (являющихся неотъемлемым элементом всех видов газоразрядных ламп) позволило достичь срока службы более 100–120 тыс. часов, что в 6–10 раз превышает долговечность люминесцентных ламп, ламп ДРЛ и ДНаТ.

Сравнительный анализ различных источников света

Произведем сравнительный анализ основных техникоэкономических показателей светильников с индукционными лампами, с лампой ДРЛ, с лампой ДНаТ и со светодиодными лампами. Результаты анализа сведены в табл. 1–3.

Таблица 1

Сравнение диапазонов мощностей

ИЛ	СДИС	ДРЛ	ДНАТ
15 Вт	15 Вт	н/д	н/д
23 Вт	21 Вт	80 Вт	н/д
40 Вт	40 Вт	125 Вт	100 Вт
80 Вт	80 Вт	250 Вт	150 Вт
120 Вт	120 Вт	н/д	250 Вт
150 Вт	150 Вт	400 Вт	н/д
200 Вт	200 Вт	700 Вт	400 Вт
300 Вт	300 Вт	1000 Вт	700 Вт
400 Вт	н/д	н/д	1000 Вт
500 Вт	н/д	н/д	н/д
н/д – промышленностью не выпускаются			

Таблица 2

Таблица сравнения основных источников света

Параметры сравнения	Светильник с индукционной лампой 80 Вт	Светильник с лампой ДРЛ-250	Светильник с лампой ДНаТ-250	Светодиодный светильник 85 Вт
Срок службы источника света, ч	60000–120000	До 10000	До 10000	50000–100000
Потребление электроэнергии, Вт	До 85	До 280	До 290	До 100
Световая отдача, лм/Вт	104	40	79	102
Нагрузка на электросети	Низкая	Большие пусковые токи в момент разогрева, время разогрева до 15 мин	Большие пусковые токи в момент разогрева, время разогрева до 15 мин	Низкая
Коэффициент пульсации	0	7,3	4,9	0,1
Контрастность и цветопередача	Высокая > 80 Ra	Низкая 42 Ra	Низкая 25 Ra	Высокая > 80 Ra
Экологическая безопасность светильника	До 25 мг амальгамы	Лампа содержит до 100 мг паров ртути	Лампа содержит натриево-ртутную амальгаму	Не известно

Окончание табл. 2

Параметры сравнения	Светильник с индукционной лампой 80 Вт	Светильник с лампой ДРЛ-250	Светильник с лампой ДНаТ-250	Светодиодный светильник 85 Вт
Время пуска источника света	0,5 с (макс)	От 3 до 15 мин (разогревание ламп)	От 3 до 15 мин (разогревание ламп)	0,5 с (макс)
Температурные режимы работы во время эксплуатации, °С	От -40 до +50	От -40 до +40 (при низких температурах запуск систем затруднен)	От -40 до +40 (при низких температурах запуск систем затруднен)	От -63 до +50
cosφ	0,99	0,74–0,9	0,74–0,9	0,8–0,9
Перезапуск после перепада U	Мгновенно	После остывания лампы	После остывания лампы	Мгновенно
Цветовая температура	2700–6500 К	3800 К	2000 К	2500–6500 К
Потеря светового потока при эксплуатации	10–15 %	30–60 % после 3 000 ч	20–40 % после 5 000 ч	25 % после 50000 ч
Вес светильника, кг	Максимальный 8	10–12 (без лампы)	10–12 (без лампы)	Максимальный 16
Стоимость, у. е.	322,58	50	56	645,16

Таблица 3

Сравнение стоимости некоторых индукционных и светодиодных источников света (ноябрь 2012 г.) [8]

Индукционное освещение		Светодиодное освещение	
Индукционная лампа LCL-QM40W E27, 40 Вт	58,87 у. е.	Светодиодная лампа Geniled E40, 40 Вт	211,45 у. е.
Уличный индукционный светильник LCL-SL012 с индукционной лампой 120 Вт	340 у. е.	Уличный светодиодный светильник Sveteco 96/10752/120 со светодиодной лампой 120 Вт	810 у. е.
Уличный индукционный светильник LCL-SL012 с индукционной лампой 150 Вт	355 у. е.	Уличный светодиодный светильник УСС-150 со светодиодной лампой 150 Вт	1130 у. е.
Уличный индукционный светильник LCL-SL012 с индукционной лампой 250 Вт	403,23 у. е.	Не производится	–

Проанализировав данные, приведенные в табл. 1–3 можно сделать выводы о том, что индукционные источники света не только гораздо дешевле светодиодных (более чем в 2 раза), но и превосходят их по некоторым характеристикам: имеют больший срок эксплуатации, большую светоотдачу, больший коэффициент мощности, меньшее потребление электроэнергии и, что немаловажно, полное отсутствие пульсации. Кроме того, из-за высокого индекса цветопередачи он дает более приятный и естественный свет, недоступный световым решениям посредством светодиодов [5]. Также индукционные лампы выпускаются в широком диапазоне мощностей для любых светильников с патронами E14, E27, E40 и специальных светильников.

Но и у ИЛ есть свои недостатки. Полностью экологически безопасной ее не назовешь, хотя содержание твердотельной ртути в ней на два порядка ниже, чем в других газоразрядных лампах [5]. Также к недостаткам как индукционных, так и светодиодных

светильников можно отнести их высокую стоимость по сравнению с распространенными на сегодняшний день светильниками на основе ламп ДРЛ и ДНаТ.

Оценка электромагнитной совместимости СД ИС [3]

Несомненно, применение СД ИС обеспечивает существенное снижение электропотребления.

Однако применение светодиодов сопровождается рядом особенностей, связанных с наличием в кривой потребляемого ими тока высших гармоник. Это связано с тем, что СД ИС представляют собой нелинейную электрическую нагрузку с нелинейностью характеристик самих СД ИС и применением в качестве источника питания светодиодов электронных преобразователей. Суммарный эффект таких нагрузок выражается в искажении кривой тока, потребляемого из сети, и протекании высших гармоник по всем элементам системы электроснабжения, что отрицательно воздействует на все оборудование, сокращая срок его службы.

Проблемы, создаваемые гармониками:

- дополнительный нагрев и выход из строя конденсаторов, трансформаторов, электродвигателей, кабелей и т. п.;
- ложные срабатывания автоматических выключателей и предохранителей;
- наличие третьей гармоники и ее производных (9, 12 и т. д.) в нейтрали может потребовать увеличения сечения ее проводника;
- гармонический шум (частые переходы через 0) может служить причиной неправильной работы компонентов систем контроля;
- повреждение чувствительного электронного оборудования;
- интерференция систем коммуникации.

Для светового оборудования с активной потребляемой мощностью, составляющей более 25 Вт, гармонические составляющие тока не должны превышать значений, приведенных в [6].

Для оценки степени искажений, вносимых светодиодными источниками света в сеть, а также необходимости их учета при построении осветительных установок на основе светодиодных источников света проведены экспериментальные исследования кривой тока [3], потребляемой светодиодными источниками света из сети.

Действующие значения напряжения $U_{\text{л}}$ и тока $I_{\text{л}}$ на лампе измерялись с помощью приборов электромагнитной системы, а форма и гармонический состав кривой тока сети $i_c = i_{\text{л}}$ исследовались с помощью прибора «Энергомонитор 3.3».

В качестве источников света использовались светодиодные источники света типа СДК-27 и СДП-27 с ШИМ (шинно-импульсный модулятор) и без него. Формы кривой тока ламп $i_{\text{л}} = i_c$ приведены на рис. 2, а–5, а соответственно, а их гармонический состав – на рис. 2, б–5, б.

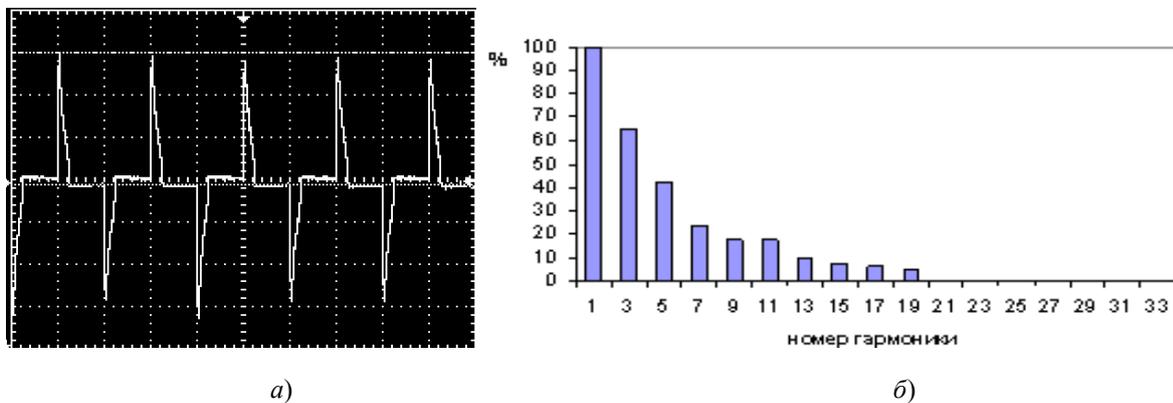


Рис. 2. Гармонический состав кривой тока светового прибора типа СДП-27-Ш с ШИМ ($K_{\text{н.с}} = 85,87\%$): а – форма кривой; б – уровни гармоник

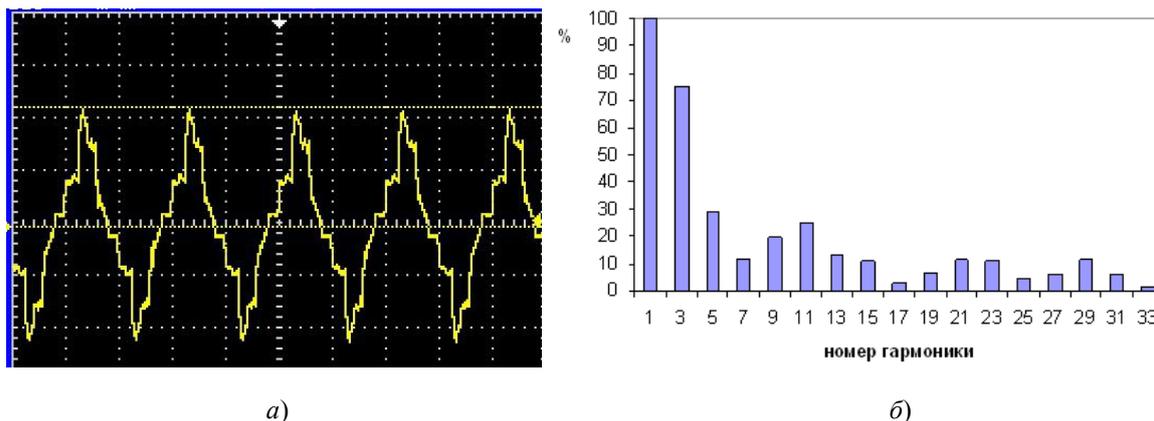


Рис. 3. Гармонический состав кривой тока светового прибора типа СДП-27 без ШИМ ($K_{н.с} = 91,9\%$): а – форма кривой; б – уровни гармоник

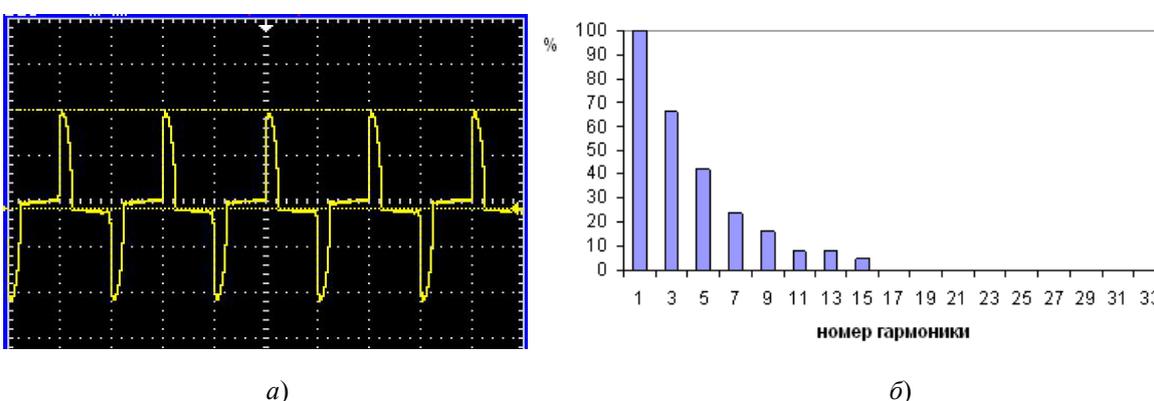


Рис. 4. Гармонический состав кривой тока светового прибора типа СДК-27-Ш с ШИМ ($K_{н.с} = 31,09\%$): а – форма кривой; б – уровни гармоник

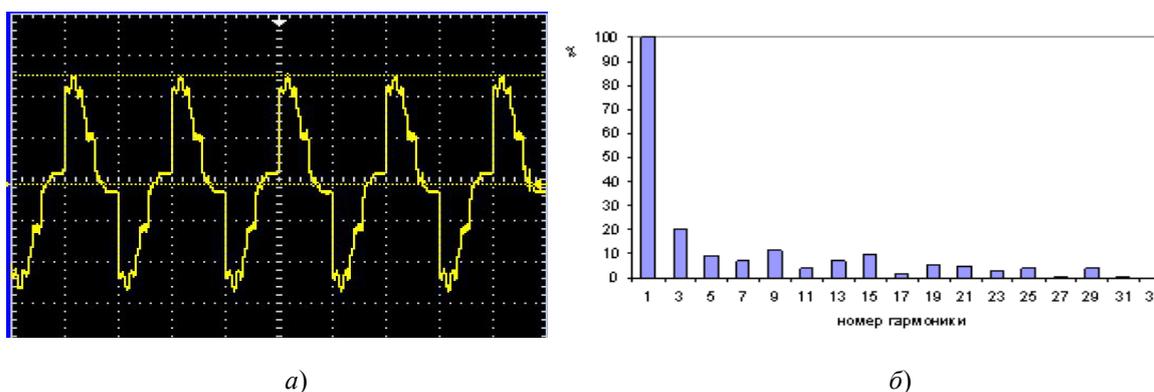


Рис. 5. Гармонический состав кривой тока светового прибора типа СДК-27 без ШИМ ($K_{н.с} = 31,09\%$): а – форма кривой; б – уровни гармоник

Приведенные осциллограммы кривых тока и гармонический состав кривых тока различных светодиодных светильников иллюстрируют наличие значительных по величине высших гармонических составляющих в потребляемом светильниками токе, что неблагоприятно сказывается на всей системе электроснабжения и потребует дополнительных затрат по их уменьшению.

Анализ результатов экспериментальных исследований свидетельствует о том, что уровень высших гармоник кривой тока потребляемого из сети световых приборов на основе светодиодных источников света находится на грани установленных

СТБ МЭК 61000-3-2–2006 пределов для светильников СДК-27, а светильник СДП-27 не выдерживает требований.

Таким образом, из результатов проведенных испытаний можно сделать следующие выводы:

– для единичных светильников, мощность которых не превышает 25 Вт, уровень высших гармоник кривой тока, потребляемого из сети, находится на грани установленных СТБ МЭК 61000-3-2–2006;

– если же суммарная мощность световых приборов превышает 25 Вт, то требования не выдерживают практически все световые приборы на основе светодиодных источников света.

В соответствии с вышеизложенным можно сделать вывод о том, что использование светодиодных источников света (в особенности, если их совокупная мощность превышает 25 Вт) требует применения специальных мер по снижению уровня высших гармоник. Применять светодиодные светильники рекомендуется совместно с фильтрокомпенсирующими устройствами, установленными в сети на стороне источников света после вводного трехфазного автомата [7].

На сегодняшний день светодиоды идеально подходят для декоративной подсветки, для различных дизайнерских решений, они могут полностью обеспечить световую рекламу, светофоры и т. д. Но если речь идет об освещении (улиц, рабочих мест и т. д.), то светодиодная техника пока не дотягивает до того качества, при котором не снижалась бы производительность труда, не появлялось чувство дискомфорта. Поэтому в настоящий момент при выборе между светодиодными и индукционными светильниками (лампами) предпочтение следует отдавать индукционным.

Оценка электромагнитной совместимости индукционных источников света

Авторами были проведены испытания индукционного источника света для оценки степени искажений, вносимых им в сеть (рис. 6). В качестве индукционного источника света использовали светильник подвесной типа 03-022 с индукционной лампой мощностью 150 Вт. Действующие значения напряжения U_L и тока I_L на лампе измерялись с помощью цифрового осциллографа OWON SDS 8202.

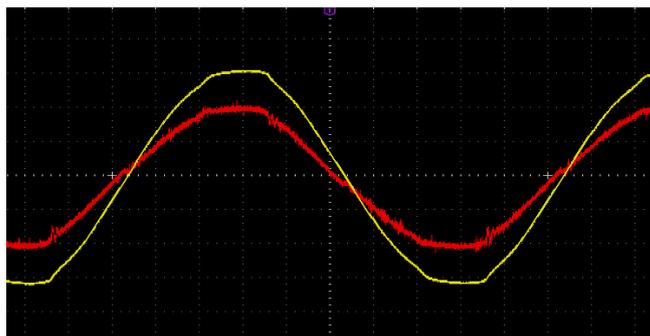


Рис. 6. Кривая тока и напряжения ИЛ

Для дальнейших исследований данные, измеренные с помощью осциллографа, сохранены в формате BIN и обработаны с помощью системы компьютерной алгебры Mathcad (рис. 7).

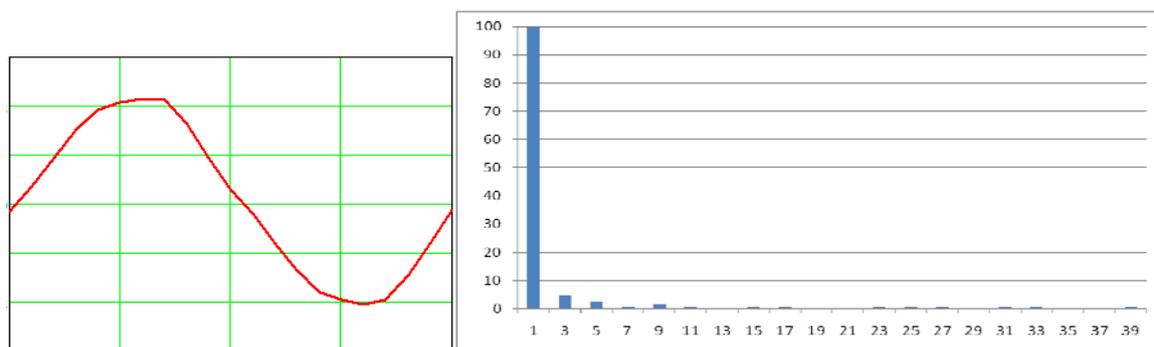


Рис. 7. Экспериментальная кривая тока индукционного светильника типа 03-022 с индукционной лампой мощностью 150 Вт и гармонический состав кривой тока ($K_{нс} = 6,12\%$)

По предложению авторов в Речицком управлении РУП «Беларуснефть» установлены более 150 ИЛ мощностью 150 Вт в уличном и внутрицеховом освещении, которые заменили ДРЛ мощностью 400 Вт с сохранением той же освещенности. Аварийное освещение также было выполнено ИЛ. За время эксплуатации индукционных светильников (более 1 года) выходов из строя не наблюдалось.

Заключение

Проанализировав результаты, полученные при испытании индукционного подвесного светильника типа 03-022 с индукционной лампой мощностью 150 Вт, сделан вывод о том, что данный источник света не вносит существенных искажений в питающую сеть. Уровень высших гармоник кривой тока потребляемого из сети не превышает требований, установленных СТБ МЭК 61000-3-2-2006, в отличие от СД ИС.

Литература

1. Фомин, Н. Светодиоды – идеальный источник света? / Н. Фомин, С. Макареня, П. Рудковский // Современ. электроника. – 2009. – № 2. – С. 6–11.
2. Макареня, С. Индукционная лампа – источник качественного и энергоэффективного освещения / С. Макареня, А. Павлов, Н. Фомин // Современ. электроника. – 2011. – № 9. – С. 8–13.
3. Оценка режимов осветительных электрических сетей объектов ЖКХ со светодиодными источниками света / Ф. П. Говоров [и др.] // Наукові праці Донецького національного технічного університету. – 2011. – № 11 (186). – С. 92–97.
4. Говоров, Ф. П. Разработка светодиодных источников света для систем внутридомового освещения / Ф. П. Говоров, Н. И. Носанов, Т. И. Романова // Світло люкс. – 2010. – № 1. – С. 55–60.
5. Рейтер, Т. Лампы для экономного освещения / Т. Рейтер // Пром.-строит. обозрение. – 2012. – № 142.
6. СТБ МЭК 61000-3-2-2006. Электромагнитная совместимость. Часть 3-2. Нормы эмиссии гармонических составляющих тока для оборудования с потребляемым током \leq или $= 16$ А в одной фазе.
7. Гужов, С. Оценка влияния источников питания светодиодных светильников на питающую сеть / С. Гужов // Современ. светотехника. – 2009. – № 2. – С. 47–49.
8. Электрооборудование и материалы для объектов промышленного и гражданского назначения [Электронный ресурс] / Энерго-Арсенал, 2008–2012. – Режим доступа: http://www.arsenal-e.ru/90/?news_id=13&ppage=1. – Дата доступа: 12.11.2012.

Получено 04.02.2013 г.