

УДК 621.31.311.728:725

**Ф. П. ГОВОРОВ**<sup>1</sup> (д-р техн. наук, проф.), **О. В. КОРОЛЬ**<sup>1</sup>,  
**Н. И. НОСАНОВ**<sup>2</sup> (канд. техн. наук, проф.), **Т. И. РОМАНОВА**<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Харьковская национальная академия городского хозяйства,

<sup>2</sup>Донбасская национальная академия строительства и архитектуры  
govorov\_fp@mail.ru, ttatianai@mail.ru

## ОЦЕНКА РЕЖИМОВ ОСВЕТИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ ОБЪЕКТОВ ЖКХ СО СВЕТОДИОДНЫМИ ИСТОЧНИКАМИ СВЕТА

*В статье рассматриваются вопросы электромагнитной совместимости светодиодных источников света с питающей сетью. Исследованы причинно-следственные связи возникновения и характера протекания высших гармоник в осветительных электрических сетях, дана оценка уровня и определены последствия искажений, вносимых светодиодными источниками света в питающую сеть.*

**Электромагнитная совместимость, светодиодные источники света, питающая сеть, исследование, высшие гармоники, искажения, последствия.**

**Актуальность темы.** Потребности человечества в освещении постоянно растут. Возросшее энергопотребление требует увеличения количества электростанций, выработки новых месторождений энергоносителей и последующей утилизации растущих отходов производства. Всё это приводит к расходованию природных ресурсов и загрязнению окружающей среды.

Актуальна тема энергосбережения и в связи с условиями современной рыночной экономики. Многие потребители столкнулись со значительным повышением тарифов на энергоносители. Такое положение дел ставит под угрозу не только развитие многих предприятий, но и осложняет финансовое положение каждой семьи и каждого человека в отдельности.

Украина стремится стать частью Европы. Пусть небыстро, но послушно приводит свое законодательство к европейским нормам, включая обязательство соблюдать запрет свободной продажи ламп накаливания (ЛН) – в соответствии с планом по переходу на энергосберегающие технологии и борьбой с глобальным потеплением, всем привычные ЛН начнут исчезать с прилавков магазинов. С 1 января 2009 г. правительство Украины Распоряжением запретило бюджетным организациям закупать ЛН, таким образом, обязав использовать энергосберегающие осветительные приборы после текущих и капитальных ремонтов. На смену традиционным ЛН придут энергосберегающие лампы – компактные люминесцентные лампы (КЛЛ). Это касается как промышленного и коммерческого, так и жилого секторов.

Прямой экономией является не только энергосбережение электроэнергии, но и срок службы энергосберегающих ламп. Хотя многие специалисты считают, что экономия полезна для бюджета, но не для здоровья глаз и общего здоровья пользователей (наличие паров ртути, специальная утилизация и спектр излучения – люминесцентный свет не только опасен, но и вреден). Очень противоречивые споры по воздействию излучения люминесцентных ламп на человека еще не закончены и не однозначны.

Закономерно возникает вопрос об альтернативных источниках света, способных удовлетворить растущий спрос на освещение. Разработками этого направления в рамках госпрограмм занимаются во многих странах мира – Соединенных Штатах, в Китае, в Японии, Корее, Австралии, на Тайване.

По мнению многих ученых, одним из самых перспективных решений вышеперечисленных проблем является внедрение светодиодных источников света (СД ИС) и осветительных приборов на их основе.

**Состояние вопроса.** Сегодня переход на светодиодное оборудование в первую очередь экономически важен несомненно, в промышленном и коммерческом секторах, где руководители заинтересованы в приобретении более экономичных и долговечных источников света высокой эффективности. Деятельность этих секторов рассчитана на перспективу, а потому и низкие энергетические затраты имеют первостепенное значение.

Определяющим фактором служит срок работы светильников и, как следствие, затраты на освещение. При работе осветительных приборов от 12 до 24 часов в сутки очевидна потребность в энергосбережении. Соответственно, и срок окупаемости на таких объектах будет значительно меньше. При переходе на светодиодное оборудование у предприятий появляется возможность снизить расходы на энергопотребление, тем самым снизить стоимость выпускаемой продукции или услуг, а значит, повысить свою конкурентоспособность. Срок окупаемости светодиодов составляет от 1 до 3 лет.

Для жилого сектора потребителей главным аргументом в пользу выбора источника освещения является его начальная цена. Перспектива будущей экономии средств на обслуживание и электроэнергию является для них мало убедительной. Тем не менее, каждый человек желает, чтобы дом встречал его светом, теплом и уютом, был комфортным и безопасным. А начинается этот уют с освещения подъезда дома.

Осветительные приборы там работают по 12-24 часа в сутки, в том числе и в дневное время, что приводит к неоправданно большим расходам электроэнергии.

Специалисты ЖКХ отмечают, что на освещение бесполезно расходуется более 1 млн. грн. в год на каждые 100 тыс. человек городского населения. И снова решением проблемы будут служить светильники на светодиодах - надежные, которые никто не сможет разбить или похитить, которые берегут электроэнергию.

Перечисленные выше аргументы стимулируют предприятия к переходу на светодиодное оборудование.

Рынок освещения светодиодами на Украине сейчас только формируется. Проблема его формирования заключается, от части, в том, что украинский потребитель, во что бы то ни стало стремится получить надежный продукт с гарантией, заплатив при этом минимум денег. Сейчас наблюдается рост продавцов – дилеров светодиодного оборудования. Однако это никак не повлияет на снижение цены светодиодов, потому как 60-70% стоимости светильника составляет на сегодня стоимость его электронных компонентов. Лишь с развитием и освоением новых технологий может снизиться и уровень цен.

Рациональное использование энергетических ресурсов является одним из важнейших факторов экономического роста и социального развития, т.к. энергосбережение позволяет направлять высвободившиеся ресурсы на другие цели: развитие социальной инфраструктуры, увеличение производства товаров и услуг, снижения уровня потребительских цен, что приводит, в конечном итоге, к росту реальных доходов населения.

**Особенности применения СД ИС на объектах ЖКХ с точки зрения ЭМС.** Характерной чертой отечественной энергетики является ежегодный рост электропотребления на коммунально-бытовые нужды. При этом, важной особенностью коммунально-бытовых потребителей является наличие в их составе большого числа электроприемников с нелинейными характеристиками. Более того, ежегодное увеличение числа и расширение номенклатуры применяемых в быту электроприемников неизменно сопровождается появлением новых электроприемников, являющихся дополнительным источником помех и искажений, вносимых ими в питающую сеть. В связи с недостаточной изученностью указанного вопроса в Украине встал вопрос о качестве электроэнергии на объектах жилищно-коммунального хозяйства.

Сравнительная оценка различных источников света на объектах ЖКХ [1] показала, применение светодиодных источников света, с их высокими энергетическими характеристиками, улучшенными цветовыми и динамическими свойствами, обеспечивает существенное снижение электропотребления.

Однако применение СД ИС сопровождается рядом особенностей, связанных с наличием в кривой потребляемого ими тока, высших гармоник. Последнее сопряжено 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 во все элементы общей сети. Это отрицательно воздействует на все оборудование, получающее электропитание от общего источника.

В структуре электромагнитных помех осветительных электрических сетей можно выделить две основные группы источников электромагнитных помех: ЭМП источников питания и ЭМП потребителей.

Причина возникновения ЭМП источников питания определяется совокупностью схемных и режимных факторов. Наличие ЭМП потребителей обусловлено особенностями энергетического преобразования в электроприемниках.

Особенности возникновения и характера протекания ЭМП источников питания имеют много общего и достаточно хорошо изучены [2]. В то же время особенности возникновения и характер воздействия ЭМП потребителей у различных их типов в значительной степени отличаются. Для большинства из них, особенно традиционных, проведены достаточно глубокие и многосторонние исследования. Однако для множества новых потребителей таких исследований не проводилось, что делает малоэффективной их работу, а также оказывает отрицательное влияние на смежные потребители. К числу таких новых и малоисследованных, с точки зрения ЭМП, электроприемников относятся осветительные электроприемники, выполненные на основе светодиодных источников света. Наличие в них электронного преобразователя в сочетании с нелинейностью характеристик самих светодиодов обуславливает искажение кривых напряжения и тока потребляемого из сети и, как следствие, протекание по элементам сети высших гармоник тока. Поскольку светодиодные источники света выполняются, как правило, как одно целое с источником питания, в рамках рассматриваемой задачи разделение помех на помехи от источника питания и потребителей не представляется целесообразным, а учет схемы источника питания возможен комплексно, применительно к различным типам светодиодных источников света.

Как видно, задача ограничения уровня гармоник в электрических сетях имеет как технический, так и экономический аспекты. Степень конкретного влияния СД ИС на процессы в сетях общего пользования определяется их долевым участием в общей нагрузке сети: там, где их доля невелика – влияние незначительно, в случае большой мощности таких электроприемников их влияние может быть существенным. Поэтому, оценка электромагнитной совместимости СД ИС с сетью является своевременной и актуальной задачей большой важности, поскольку в будущем ожидается значительное увеличение доли электроэнергии, расходуемой на светодиодное освещение.

Таким образом, как свидетельствуют результаты анализа, применение СД ИС в ЖКХ требует исследования ряда особенностей, связанных с наличием искажений, вносимых в питающую сеть.

**Нормирование искажений, вносимых СДИС в сеть.** Нормы качества электрической энергии (КЭ) являются уровнями электромагнитной совместимости для кондуктивных электромагнитных помех в системах

електроснабження общего назначения. При соблюдении указанных норм обеспечивается электромагнитная совместимость электрических сетей систем электроснабжения общего назначения и электрических сетей потребителей электрической энергии (приемников электрической энергии).

Рассматривая электромагнитную совместимость как показатель качества продукции, необходимо на различных этапах ее создания (планирование, испытания, оценка качества) соблюдать целый ряд рекомендаций и норм, охватывающих комплекс непрерывно совершенствующихся вопросов электромагнитной совместимости.

ЭМС наиболее эффективно достигается с учетом эксплуатационных и экономических условий путем планомерной и непрерывной работы на стадии проектирования изделия. ЭМС рассматривается наряду с другими параметрами как комплексная характеристика качества создаваемого изделия, и ее реализация прослеживается при изготовлении изделия системой контроля качества. Это означает по существу гарантию обеспечения собственной помехоустойчивости, т.е. по возможности исключение внутреннего электромагнитного воздействия в системе, а также обеспечения помехоустойчивости к внешнему воздействию при обоснованных затратах и реализацию оправданных мер, направленных на то, чтобы влияние изделия на окружающую среду не выходило за пределы установленных норм. При этом понятие «обоснованные затраты» при возможных внешних воздействиях не следует понимать с позиции достижения абсолютной устойчивости любой ценой. Прежде всего необходимо добиться минимизации общей стоимости, обусловленной стоимостью потерь вследствие работы системы с учетом влияния ЭМС и стоимостью дополнительных мероприятий по повышению ЭМС. Это означает, что процесс повышения надежности в отношении ЭМС требует все больших затрат.

Однако практически трудно определить результирующую зависимость. Известны затраты на обеспечение совместимости для различных объектов. Они составляют от 2 до 10% стоимости разработки, и эти цифры могут быть приняты в качестве первого приближения представляющей интерес оптимальной стоимости. Если правильно и своевременно учесть проблемы ЭМС в процессе проектирования продукции, то возможно снизить дополнительные расходы на проектирование мер обеспечения ЭМС до 1% стоимости заказа.

В настоящее время в Украине проводится гармонизация нормативно-правовых документов, касающихся проблемы улучшения качества напряжения в электрических сетях, в соответствии с европейскими Директивами и международными стандартами. В то же время в Украине отсутствует и требует разработки Национальная концепция обеспечения ЭМС, которая должна не только основываться на европейских принципах, но и учитывать особенности Украинских электрических сетей. Без принятия указанной концепции не могут быть приняты изменения и дополнения к правилам присоединения электроустановок к электрическим сетям, а также Инженерные рекомендации, устанавливающие для украинских электрических сетей правила подключения нелинейных потребителей [3].

Вопросами электромагнитной совместимости в системах коммунально-бытового электропотребления занималось большое число ученых. Среди них важное место занимают работы украинских специалистов – акад. Кузнецова В.Г. и Шидловского А.К., проф. Жежеленко И.В., Куренного Э.Г. и др. [4-7], а также специалистов из ближнего [8, 9], а также дальнего зарубежья [10, 11]. Ими дана оценка и разработаны научно-технические и методические основы повышения качества энергии в сетях общего пользования для наиболее общего, классического состава потребителей. В тоже время расширение номенклатуры электроприемников и появление их новых типов и нелинейностью их характеристик потребовало проведение дополнительных исследований, имеющих своей целью оценку режимов и уровня электромагнитной совместимости потребителей с такими электроприемниками.

Значение искажений, вносимых электроприемниками жилищно-коммунального хозяйства в сеть, и их допустимый уровень, в настоящее время, устанавливает ряд документов. ДСТУ ІЕС 61000-3-2:2004 (ІЕС 61000-3-2:2004, ІDТ) Норми на емісію гармонік струму [12], ДСТУ 4210:2003 (EN 55103-1:1996) Електромагнітна сумісність. Професійна аудіо-, відео- й аудіовізуальна апаратура та апаратура керування освітлювальними установками [13], ДСТУ ІЕС 61000-6-2:2007 (ІЕС 61000-6-3: 2006, ІDТ) Електромагнітна сумісність. Загальні стандарти. Емісія завод у житловому і торговельному середовищі та у виробничих зонах з малим енергоспоживанням [14] и т.д. Каждый из стандартов адаптирован к конкретным условиям эксплуатации и определяет уровень допустимых искажений, вносимых определенным типом электроприемников.

Для новых электроприемников с нелинейными характеристиками требуется оценка норм эмиссии высших гармоник и их степени соблюдения в реальных условиях эксплуатации. Для осветительных электроприемников, выполненных на основе светодиодных источников света, нормирование помех регламентировано ДСТУ ІЕС61000-3-2:2004 в зависимости от мощности  $P_{СП}$  и коэффициента мощности светового прибора  $\lambda_{СП}$ . Числовые значения гармонических составляющих тока световых приборов приведены в табл. 1.

**Оценка электромагнитной совместимости светодиодных источников света.** Для оценки степени искажений, вносимых светодиодными источниками света в сеть, а также необходимости их учета при построении осветительных установок на основе светодиодных источников света авторами проведены экспериментальные исследования кривых тока, потребляемого светодиодными источниками света из сети. Действующие значения напряжения  $U_n$  и тока  $I_n$  на лампе измерялись с помощью приборов электромагнитной системы, а форма и гармонический состав кривой тока сети  $i_C=i_L$  исследовалась с помощью прибора «Энергомонитор 3.3». Схема экспериментального стенда приведена на рис. 1.

Таблиця 1 – Максимально допустимое значение тока гармоник для световых приборов мощностью более 25 Вт\* согласно ДСТУ ІЕС 61000-3-2:2004 [12]

Номер гармоники, $n$	Максимально допустимое значение гармоники тока, в % от основной гармоники
1	2
3	$30 \cdot \lambda_{СП}$
5	10
7	7
9	5
11	3
$13 < n < 39$	3

В качестве источников света использовались светодиодные источники света типа СДК-27 и СДП-27 с ШИМ и без него. Кривая напряжения  $u_{л}=u_{с}$  приведена на рис. 2 для обоих типов светильников. Формы тока ламп  $i_{л}=i_{с}$  приведены на рис. 3а–ба, соответственно, а их гармонический состав – на рис. 3б–6б.



Рисунок 1 - Схема экспериментальной установки

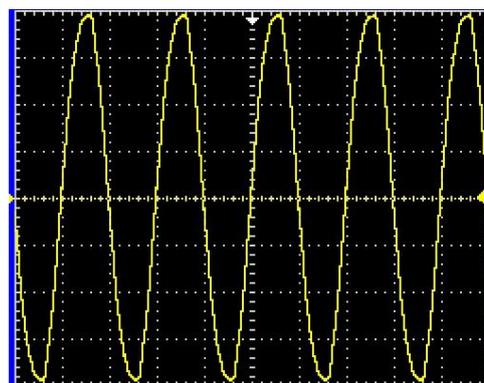
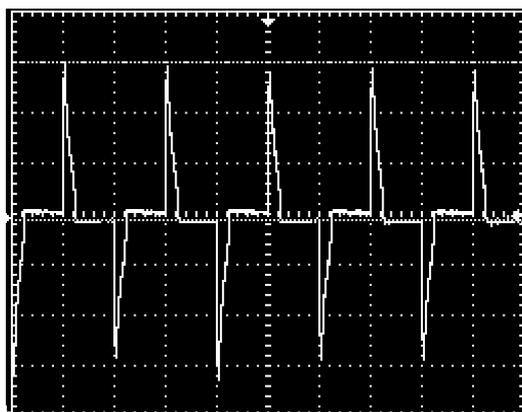
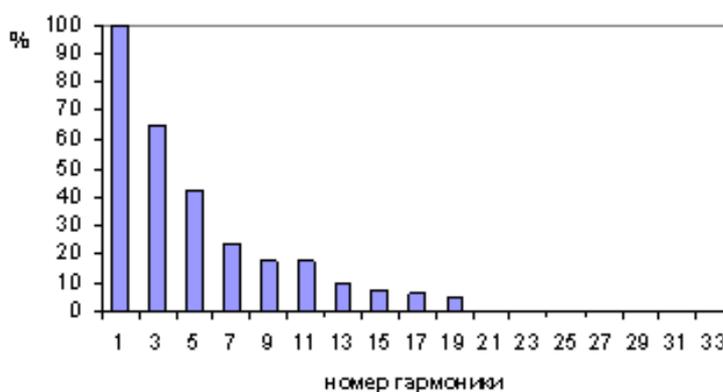


Рисунок 2 - Кривая напряжения световых приборов на основе СД ИС



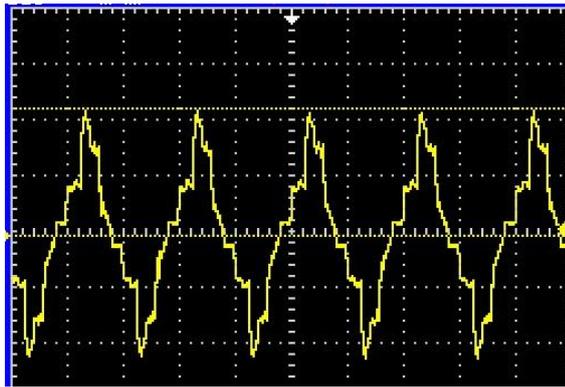
а)



б)

Рисунок 3 - Гармонический состав кривой тока светового прибора типа СДП-27-Ш с ШИМ ( $K_{НС}=85,87\%$ )  
а) форма кривой; б) уровни гармоник

\* Для СП мощностью менее 25 Вт нормируются только величины третьей и пятой гармоник, которые не должны превышать, соответственно, 86% и 61% от тока основной гармоники

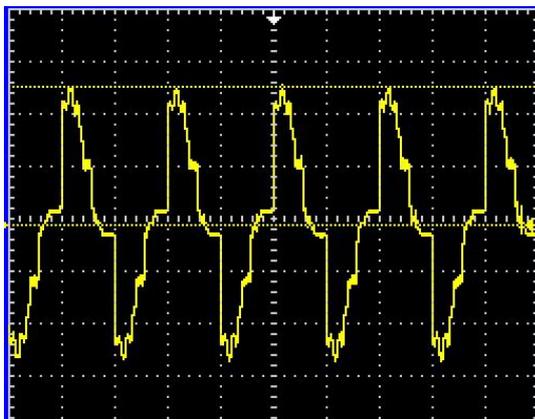


а)

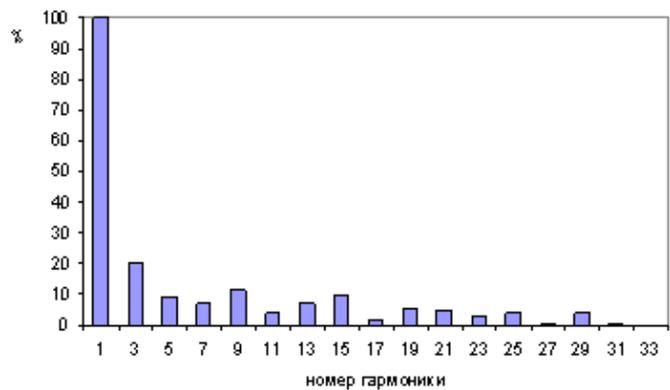


б)

Рисунок 4 - Гармонический состав кривой тока светового прибора типа СДП-27 без ШИМ ( $K_{НС}=91,9\%$ )  
а) форма кривой; б) уровни гармоник

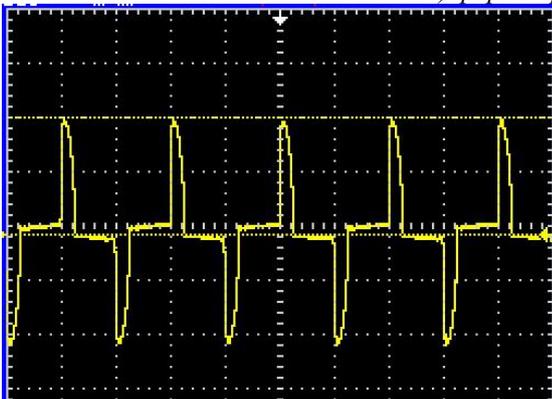


а)

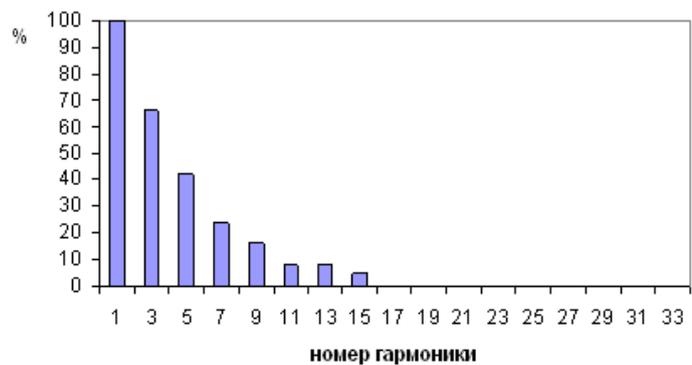


б)

Рисунок 5 - Гармонический состав кривой тока светового прибора типа СДК-27 без ШИМ ( $K_{НС}=31,09\%$ )  
а) форма кривой; б) уровни гармоник



а)



б)

Рисунок 6 - Гармонический состав кривой тока светового прибора типа СДК-27-Ш с ШИМ ( $K_{НС}=31,09\%$ )  
а) форма кривой; б) уровни гармоник

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 ДСТУ пределов. Это относится, прежде всего, к единичным световым приборам типа СДП-27, СДП-27-Ш и СДК-27-Ш при условии, что их мощность не превышает 25 Вт. В случае, если суммарная мощность световых приборов превышает 25 Вт, то требования ДСТУ более жестки и их не выдерживают, практически, почти все световые приборы, за исключением разве, что светильников СДК-27, у которых они находятся на пределе.

Изложенное требует применения специальных мер по снижению уровня высших гармоник в сетях со светодиодными источниками света, в особенности, если их совокупная мощность превышает 25 Вт.

**Выводы.**

1. Результат комплексного обследования системы электроснабжения и освещения здания позволил установить перспективу роста числа электропотребителей на основе СД ИС со свойственными им проблемами.
2. Выполненный анализ позволил установить причинно-следственные связи возникновения и характера протекания высших гармоник в осветительных электрических сетях со светодиодными источниками света.
3. Проведенные экспериментальные исследования позволили установить, что значения высших гармоник в сетях со светодиодными источниками света находится на предельном уровне и требуют, в ряде случаев, разработки специальных мероприятий по их уменьшению.

**ЛИТЕРАТУРА**

1. 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.
2. Векслер Г.С. Подавление электромагнитных помех в цепях электрического питания / Г.С. Векслер, С.В. Недочетов, В.В. Пилипский. – К.: Техника, 1990. – 167 с.
3. Жаркин А.Ф. Нормативно-правовое регулирование качества электрической энергии. Анализ украинских и европейских законодательных актов и нормативно-технических документов / А.Ф. Жаркин, В.А. Новский, С.А. Палачев. – Киев: Ин-т электродинамики НАН Украины, 2010. – 167 с.
4. Шидловский А.К. Повышение качества энергии в электрических сетях / А.К. Шидловский, В.Г. Кузнецов. – Киев: Наукова думка, 1985. – 268 с.
5. Кузнецов В.Г. Оптимизация режимов электрических сетей / В.Г. Кузнецов, Ю.И. Тугай, В.А. Баженов. – К.: Наукова думка, 1992. – 216 с.
6. Жежеленко И.В. Высшие гармоники в системах электроснабжения промпредприятий / И.В. Жежеленко. – М.: Энергоатомиздат, 2000. – 331 с.
7. Кузнецов В.Г. Электромагнитная совместимость. Несимметрия и несинусоидальность напряжений / В.Г. Кузнецов, Э.Г. Куренный, А.П. Лютый. – Донецк: Норд-Пресс, 2005. – 250 с.
8. Михайлов В.В. Режимы коммунально-бытового электропотребления / В.В. Михайлов, М.В. Тарнижевский, В.Ф. Тимченко. – М.: Энергоатомиздат, 1993. – 288 с.
9. Маркушевич Н.С. Качество напряжения в городских электрических сетях / Н.С. Маркушевич, Л.А. Солдаткина. – М.: Энергия, 1975. – 256 с.
10. Michalic R. Phase-shifting Transformer With Fixed Phase Between Termime Voltage And Voltage Boost: Tool For Transiont. Stabiling Marginenhancement / R. Michalic, P. Zunko // *IEE. Proc. Generat., Transmiss. And Dctrib.* – 1995. – 142, №3. – P. 257-262.
11. Grosh Kauchan Present And Future Applications Of Phasse Shifters In A Large Power Transmission Network / Kauchan Grosh // *Prop Anoeer Power Gons.: 55<sup>th</sup> Anan. Amer. Power Conf., Chicago 3, 1993, Vol. 55, Pt. 1 – Chicago (3) 1993, P. 727-731.*
12. ДСТУ ІЕС 61000-3-2:2004 (ІЕС 61000-3-2:2004, ІДТ) Електромагнітна сумісність. Ч. 3-2. Норми. Норми на емісію гармонік струму (для сили вхідного струму обладнання не більше 16 А на фазу). / Київ: Держспоживстандарт України, 2007. – 18 с.
13. ДСТУ 4210:2003 (EN 55103-1:1996, MOD) Електромагнітна сумісність. Професійна аудіо-, відео- й аудіовізуальна апаратура та апаратура керування освітлювальними установками. Частина 1. Емісія завод. Норми і методи вимірювання. / Київ: Держспоживстандарт України, 2003. – 32 с.
14. ДСТУ ІЕС 61000-6-2:2007 (ІЕС 61000-6-3:2006, ІДТ) Електромагнітна сумісність. Загальні стандарти. Емісія завод у житловому і торговельному середовищі та у виробничих зонах з малим енергоспоживанням. / Київ: Держспоживстандарт України, 2007. – 18 с.

Надійшла до редколегії 28.03.2011

Рецензент: Е.Г.Курінний

П. П. ГОВОРОВ<sup>1</sup>, О. В. КОРОЛЬ<sup>1</sup>,  
М. І. НОСАНОВ<sup>2</sup>, Т. І. РОМАНОВА<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Харківська національна академія міського господарства

<sup>2</sup>Донбаська національна академія будівництва і архітектури

**Оцінка режимів освітлювальних електричних мереж об'єктів ЖКГ зі світлодіодними джерелами світла.** У статті розглядаються питання електромагнітної сумісності світлодіодних джерел світла з живлячою мережею. Досліджені причинно-наслідкові зв'язки виникнення і характеру протікання вищих гармонік в освітлювальних електричних мережах, дана оцінка рівня і визначені наслідки спотворень, що вносяться світлодіодними джерелами світла в живлячу мереж.

**Електромагнітна сумісність, світлодіодні джерела світла, живляча мережа, дослідження, вищі гармоніки, спотворення, наслідки.**

F. GOVOROV<sup>1</sup>, O. KOROL<sup>1</sup>,  
N. NOSANOV<sup>2</sup>, T. ROMANOVA<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Kharkov National Academy of Municipal Facilities and Services,

<sup>2</sup> Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

**Estimation of Operation Modes of Lighting Power Networks of Housing and Communal Services Using Led-Light Sources.** The article is devoted to the consideration of electromagnetic compatibility of LED-light sources and a power network. There are studied causes and effects of rising and the character of harmonic flowing in lighting power networks, the harmonic level is estimated, after-effects of the distortions caused by LED-light sources in a power network are determined.  
**Electromagnetic compatibility, LED lights, mains supply, research, higher harmonics distortion effects**