

УДК 628.984

ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ И СВЕТОТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СВЕТИЛЬНИКОВ ДЛЯ НАРУЖНОГО И ВНУТРИЦЕХОВОГО ОСВЕЩЕНИЯ

Л. И. ЕВМИНОВ, В. С. КИЗЕВА

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

Введение

Проблемы энергосбережения и энергоэффективности являются одними из наиболее актуальных в мировой энергетике, а с учетом тенденции роста цен на энергоносители – это и одни из главных проблем экономики. Вопросам энергосбережения и энергоэффективности уделяется значительное внимание и в Республике Беларусь. В целях обеспечения эффективного использования топлива и энергии реализуется «Республиканская программа энергосбережения на 2011–2015 годы». В соответствии с [1] повышение энергоэффективности будет обеспечено в первую очередь за счет внедрения новых энергоэффективных технологий во всех отраслях экономики и отдельных технологических процессах. Одним из пунктов программы является внедрение энергоэффективных систем освещения во всех отраслях народного хозяйства, жилищно-коммунальном секторе.

Задача экономии электроэнергии на осветительных установках состоит во внедрении более экономичных и прогрессивных источников света при одновременном создании оптимальной освещенности.

В [2] произведено сравнение основных источников света по следующим характеристикам: светоотдача, индекс цветопередачи, потеря светового потока при эксплуатации, срок службы, цветовая температура, рабочая температура, время включения, экологическая безопасность светильника, возможность диммирования, возможность горячего перезапуска, коэффициент пульсаций светового потока. Проанализировав данные, можно сделать выводы о том, что наиболее перспективными на сегодняшний день являются светодиодные и индукционные источники света (ИС).

Целью данной работы является оценка зрительного и биологического аспектов применения индукционных и светодиодных ИС; исследование электрических и светотехнических характеристик светильников с индукционными и светодиодными ИС; оценка экономической эффективности при внедрении энергоэффективных источников света.

Основная часть

В [3] проанализированы зрительный и биологический аспекты применения светодиодных источников света (СД ИС). Спектральный состав света – важнейшая характеристика освещения. На сегодняшний день все авторы сходятся в одном – светодиоды (СД) имеют ярко выраженную полосу излучения в сине-голубой полосе спектра 440–460 нм, которое, в свою очередь, оказывает влияние как на зрение, так и на механизм биологических часов человека. Офтальмологические исследования сви-

детельствуют о том, что пороги фотохимического разрушения сетчатки в синеголубой области спектра в 50–100 раз ниже, чем в зелено-красной (500–700 нм). Наибольшей опасности повреждения сетчатки синеголубыми компонентными излучениями СД подвержены дети и молодые люди. Поскольку последствия повреждения сетчатки носят накопительный характер и могут проявляться через годы, следует проявлять особую осторожность и предусмотрительность при освещении детских учреждений холодно-белыми СД ИС.

Спектральный состав света индукционных ИС максимально приближен к дневному, но на сегодняшний день существует мнение о том, что индукционные лампы излучают вредное электромагнитное излучение, так как частота тока, генерируемого электронным ПРА, составляет 250 кГц. Так, в [4] произведено измерение напряженности электромагнитного поля вблизи индукционного ИС. На расстоянии 0,5 м от индукционной лампы ИЛК-200 электромагнитное излучение превышает предельно допустимое значение (20 мВ/м) и составляет 90 мВ/м, но на расстоянии 1 м напряженность поля составляет уже 7 мВ/м, что существенно ниже предельно допустимого значения. На дистанции 2 м этот показатель на уровне 2 мВ/м, а с 3-метрового расстояния приборы вообще не фиксируют электромагнитного излучения.

Так как индукционные светильники предназначены для внутрицехового освещения помещений с высокими пролетами, размещают их на высоте от 4 м и выше, то говорить о каком-либо вредном воздействии электромагнитного поля на человека не корректно.

В рамках данной работы исследованы следующие светильники:

- 1) индукционный промышленный светильник LVD 03-022 150 W;
- 2) уличный светодиодный светильник ДКУ-64x2-001 У1 «Феникс».

На рис. 1 представлены вольт-амперные характеристики (ВАХ) исследуемых источников света.

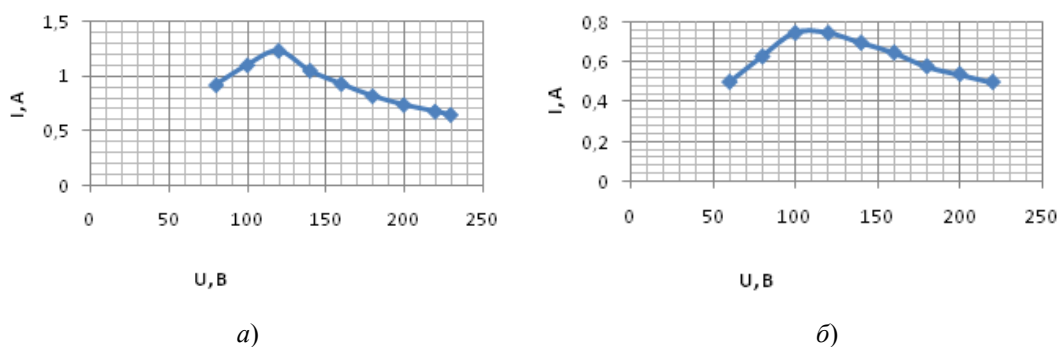


Рис. 1. ВАХ индукционного светильника LVD 03-022 150W (а) и светодиодного светильника ДКУ-64x2-001 У1 «Феникс» (б), соответственно

Из рис. 1 видно, что исследуемые источники света не чувствительны к перепадам напряжения и способны работать в достаточно широком диапазоне напряжений. Напряжение зажигания и отключения индукционного светильника LVD 03-022 150 W – 66 и 70 В, соответственно. А светильник ДКУ-64x2-001 У1 «Феникс» включается при значении напряжения 60 В и отключается – при 56 В.

На рис. 2 представлены кривые изменения светотдачи исследуемых светильников при изменении величины питающего напряжения. Измерения проводились при высоте подвеса источника света 3 м.

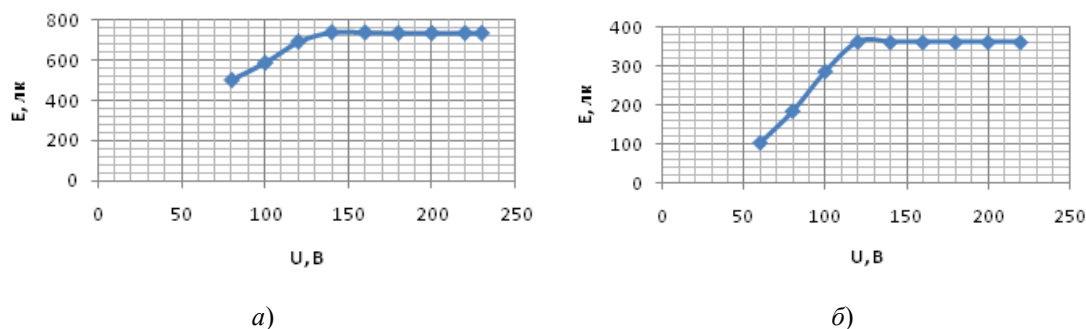
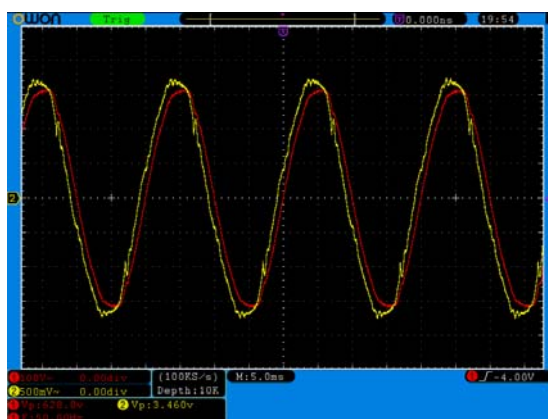


Рис. 2. Изменение освещенности при изменении напряжения сети для светильника LVD 03-022 150 W (а) и светодиодного светильника ДКУ-64х2-001 У1 «Феникс» (б), соответственно

Из рис. 2 следует, что исследуемые светильники стабильно работают при напряжении питающей сети 140 В. Также следует отметить, что изменение напряжения в диапазоне 140–220 В не влияет на величину освещенности.

Проведен гармонический анализ кривых тока исследуемых источников света. Действующие значения напряжения и тока на лампах измерялись с помощью цифрового осциллографа OWON SDS 8202. Для дальнейших исследований данные, измеренные с помощью осциллографа, сохранены в формате BIN и обработаны с помощью системы компьютерной алгебры Mathcad. Результаты исследований представлены на рис. 3 и 4.

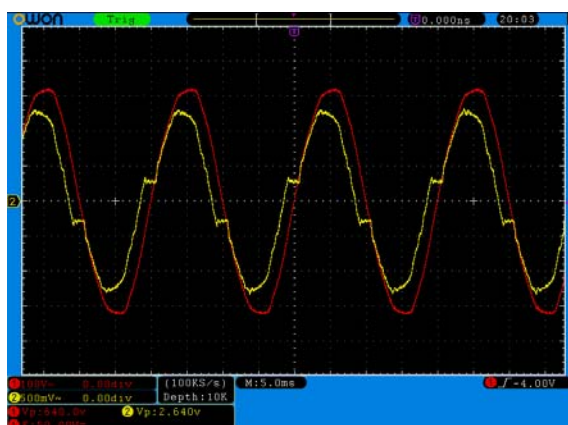


а)



б)

Рис. 3. Экспериментальная кривая тока светильника LVD 03-022 150 W (а) и гармонический состав кривой тока (б)



а)



б)

Рис. 4. Экспериментальная кривая тока светодиодного светильника ДКУ-64x2-001 У1 «Феникс» (а) и гармонический состав кривой тока (б)

Проанализировав результаты, приведенные на рис. 3 и 4, сделан вывод о том, что данные источники света не вносят существенных искажений в питающую сеть. Уровень высших гармоник кривой тока, потребляемого из сети, не превышает требований, установленных СТБ МЭК 61000-3-2-2006. Также видно, что уровень высших гармоник индукционного светильника LVD 03-022 150 W ниже по отношению к светодиодному светильнику и кривая тока индукционного источника света приближена к синусоидальной.

Также в рамках данной работы исследованы тепловые характеристики индукционных и светодиодных ИС. Измерения распределения температуры на внутренних и внешних поверхностях светильников проводились с помощью тепловизионной камеры Testo 876 при температуре окружающей среды 22 °C после 1 ч работы светильника. Результаты представлены на рис. 5 и 6.

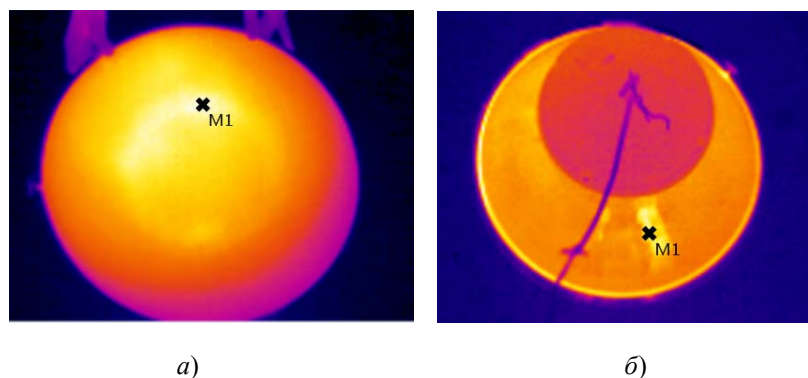


Рис. 5. Термография светильника LVD 03-022 150 W с лицевой стороны (а) $t_{\max} = 54,3 \text{ }^{\circ}\text{C}$ и с тыльной стороны (б) $t_{\max} = 33,5 \text{ }^{\circ}\text{C}$, соответственно

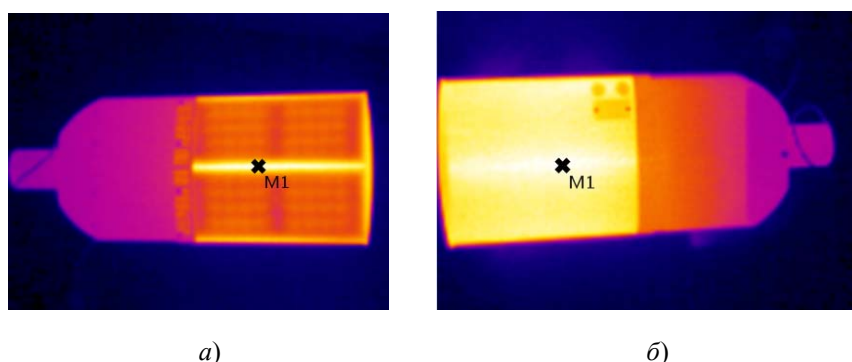


Рис. 6. Термография светильника ДКУ-64x2-001 У1 «Феникс» с лицевой стороны (а) $t_{\max} = 48,9 \text{ }^{\circ}\text{C}$ и с тыльной стороны (б) $t_{\max} = 45,4 \text{ }^{\circ}\text{C}$, соответственно

Произведена реконструкция системы общего равномерного освещения (в составе комбинированного) сварочно-механического участка цеха № 1 а ОАО «Белсельэлектросетьстрой» филиал «Завод энергооборудование». Светильники с лампами ДРЛ заменены на энергоэффективные (индукционные и СД ИС). Система местного освещения выполнена люминесцентными лампами, которые являются весьма экономичными. В связи с этим система местного освещения не нуждается в реконструкции.

К установке выбраны светильник с индукционной лампой LVD 03-022 150 Вт и светодиодный светильник ДСП 02-48x4-001. Анализ проводился на основании расчетов, произведенных в программе DIALux. Для сравнения выбрано помещение $44,5 \times 15$, высота потолка 8 м. Подвес светильников – 7,2 м. Нормируемая освещенность для системы комбинированного освещения сварочно-механического участка цеха № 1 а $E_{\min} = 400 \text{ Лк}$ (в том числе от общего 200 Лк). Полученные результаты расчетов приведены в табл. 1 и на рис. 7 и 8.

Таблица 1

Результаты расчетов в программе DIALux

Светильник	Потребляемая мощность, Вт	Поверхность	E_{\min} , Лк	E_{\max} , Лк	E_{\max}/E_{\min}
LVD 03-022 150 Вт	5798,8	Рабочая плоскость	196	417	2,13
		Полы	206	397	1,93
ДСП 02-48x4-001	4200	Рабочая плоскость	223	541	2,43
		Полы	215	494	2,3

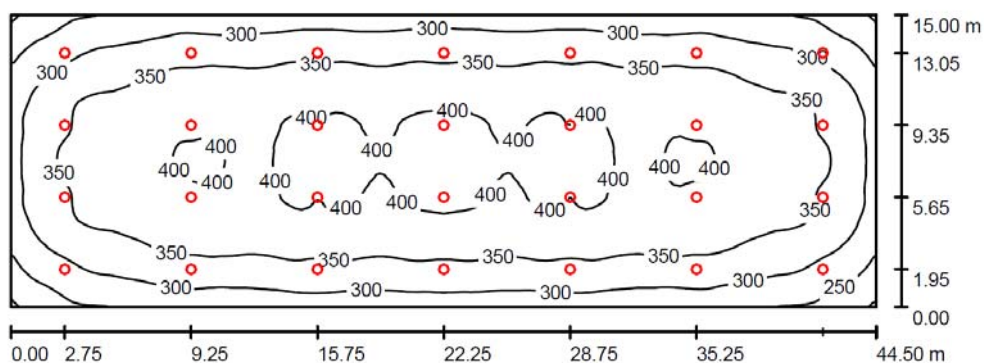


Рис. 7. Изолинии освещенности (светильник LVD 03-022 150 Вт)

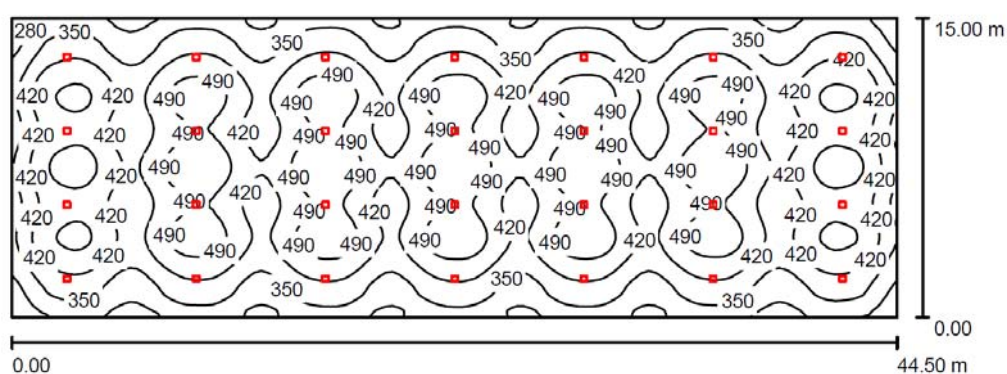


Рис. 8. Изолинии освещенности (светильник ДСП 02-48x4-001)

Как видно из приведенных расчетов, установленная мощность осветительной установки с применением светодиодных ИС меньше в сравнении с индукционными. Однако из табл. 1 следует, что освещение с помощью индукционных светильников более равномерное.

Также выполнено технико-экономическое сравнение представленных систем освещения. Результаты сведены в табл. 2 и 3.

Таблица 2

Расчет срока окупаемости замены светильников с лампами ДРЛ на индукционные светильники

Параметр	Освещение на индукционных лампах			Освещение на лампах ДРЛ		
	Номинальная мощность, Вт	Потребляемая мощность, Вт	Количество, шт.	Номинальная мощность, Вт	Потребляемая мощность, Вт	Количество, шт.
Источник света	200	207,1	28	700	735	18
Потребление электроэнергии, кВт · ч/год	17396,4			39690		
Экономия электроэнергии, кВт · ч/год	22293,6					
Экономия электроэнергии, %	56,17					

Окончание табл. 2

Параметр	Освещение на индукционных лампах			Освещение на лампах ДРЛ		
	Номинальная мощность, Вт	Потребляемая мощность, Вт	Количество, шт.	Номинальная мощность, Вт	Потребляемая мощность, Вт	Количество, шт.
Источник света	200	207,1	28	700	735	18
Стоимость оборудования, бел. р.	105859600			0		
Капиталовложения в мероприятие по реконструкции (СМР – 25 %, пуско-наладочные работы 3 %), бел. р.	$105859600 \cdot 1,28 = 135500288$			0		
Годовые суммарные затраты на ремонтно-эксплуатационное обслуживание системы освещения, бел. р./год	0 (в течение гарантийного срока службы 5 лет)			в течение года заменяют 56 % ламп ДРЛ: 1) замена ламп (с учетом СМР, пуско-наладочных работ и стоимости ламп): $196800 \cdot 10 \cdot 1,28 = 2519040$ бел. р.; 2) стоимость утилизации: $10 \cdot 5900 + 87000 \cdot 12 = 1103000$ бел. р.; 3) общие затраты на обслуживание системы освещения: $2519040 + 1103000 = 3622040$ бел. р.		
Средняя стоимость 1 кВт · ч электроэнергии	1454,47 бел. р.					
Экономия средств, бел. р./год	$22293,6 \cdot 1454,47 + 3622040 = 36\,47\,12,39$					
Срок окупаемости	3,76 года					

Таблица 3

Расчет срока окупаемости замены светильников с лампами ДРЛ на светодиодные светильники

Параметр	Освещение на индукционных лампах			Освещение на лампах ДРЛ		
	Номинальная мощность, Вт	Потребляемая мощность, Вт	Количество, шт.	Номинальная мощность, Вт	Потребляемая мощность, Вт	Количество, шт.
Источник света	64×2	150	28	64×2	150	28
Потребление электроэнергии, кВт · ч/год	12600			39690		
Экономия электроэнергии, кВт · ч/год	24090					
Экономия электроэнергии, %	60,7					

Окончание табл. 3

Параметр	Освещение на индукционных лампах			Освещение на лампах ДРЛ		
	Номинальная мощность, Вт	Потребляемая мощность, Вт	Количество, шт.	Номинальная мощность, Вт	Потребляемая мощность, Вт	Количество, шт.
Источник света	64 × 2	150	28	64 × 2	150	28
Стоимость оборудования, бел. р.	163326240			0		
Капиталовложения в мероприятие по реконструкции (СМР – 25 %, пуско-наладочные работы 3 %), бел. р.	163326240 · 1,28 = = 209057587,2			0		
Годовые суммарные затраты на ремонтно-эксплуатационное обслуживание системы освещения, бел. р./год	0 (в течение гарантийного срока службы 3 лет)			в течение года заменяют 56 % ламп ДРЛ: 1) замена ламп (с учетом СМР, пуско-наладочных работ и стоимости ламп): 196800 · 10 · 1,28 = = 2519040 бел. р. 2) стоимость утилизации: 10 · 5900 + 87000 · 12 = = 1103000 бел. р. 3) общие затраты на обслуживание системы освещения: 2519040 + 1103000 = = 3622040 бел. р.		
Средняя стоимость 1 кВт · ч электроэнергии	1454,47 бел. р.					
Экономия средств, бел. р./год	24090 · 1454,47 + 3622040 = 38671222,3					
Срок окупаемости	5,41 года					

Заключение

Проанализировав результаты проведенной работы, можно сделать вывод о том, что в настоящее время наиболее перспективными для наружного и внутрицехового освещения являются светодиодные и индукционные источники света.

В ходе выполнения работы:

1. Сняты ВАХ исследуемых ИС. Из анализа ВАХ следует, что данные ИС способны работать в довольно большом диапазоне напряжений. Напряжение зажигания и отключения индукционного светильника LVD 03-022 150 W – 66 и 70 В, соответственно. Также выявлено, что изменение напряжения в диапазоне 140–220 В существенно не влияет на величину освещенности исследуемых ИС.

2. Проведен гармонический анализ кривой тока исследуемых ИС. Действующие значения напряжения и тока на лампах измерялись с помощью цифрового осциллографа OWON SDS 8202. Сделан вывод о том, что уровень высших гармоник кривой тока, потребляемого из сети, не превышает требований, установленных СТБ МЭК 61000-3-2–2006.

3. Из анализа [3] сделан вывод, что СД ИС имеют ярко выраженную полосу излучения в сине-голубой полосе спектра 440–460 нм, которое оказывает влияние на

зрение человека. В соответствии с [4] на расстоянии 3 м от индукционной лампы приборы не фиксируют ЭМИ.

4. Произведена реконструкция системы общего равномерного освещения (в составе комбинированного) сварочно-механического участка завода. Результаты расчетов показали, что установленная мощность осветительной установки с применением светодиодных ИС в 1,3 раза меньше в сравнении с индукционными, однако освещение с помощью индукционных светильников более равномерное.

5. Расчет срока окупаемости предлагаемых проектов показал, что система освещения с применением индукционных ИС окупится уже через 3,76 года, что значительно меньше их гарантийного срока службы 5 лет. А система освещения с применением светодиодных светильников окупится лишь через 5,41 года, что практически в 2 раза превышает их гарантийный срок службы.

6. Выполнена замена ламп ДРЛ на индукционные без замены светильников, что позволит сэкономить значительные средства и время. Совместно с ОАО «Гомельский ЗИП» была произведена модернизация светильника РСП, в ходе которой лампы ДРЛ 400 Вт заменили на ИЛ Saturn мощностью 150 Вт. Была зафиксирована работоспособность модернизированного светильника и исследованы его светотехнические характеристики.

7. В результате 2-годичной эксплуатации более 800 индукционных светильников на одном из предприятий «Беларуснефть» были выявлены их высокая эффективность и надежность.

Результаты проделанной работы свидетельствуют о том, что использование в освещении индукционных ИС позволяет достаточно быстро окупить денежные вложения, значительно снизить потребление электроэнергии, уменьшить количество используемых ламп и стоимость технического обслуживания.

Литература

1. Об утверждении Республиканской программы энергосбережения на 2011–2015 годы : постановление Совета Министров Респ. Беларусь, 24 дек. 2010 г., № 1882 // Департамент по энергоэффективности Гос. ком. по стандартизации Респ. Беларусь. – Минск, 2010.
2. Кизева, В. С. Сравнительный анализ различных источников света и оценка электромагнитной совместимости безэлектродных (индукционных) и светодиодных источников света / В. С. Кизева // Исследования и разработки в области машиностроения, энергетики и управления : материалы XIII Междунар. межвуз. науч.-техн. конф. студентов, магистрантов и аспирантов, Гомель, 25–26 апр. 2013 г. / Гомел. гос. техн. ун-т им. П. О. Сухого. – Гомель, 2013. – С. 491–494.
3. Закгейм, А. Л. Светодиодные системы освещения: эффективность, зрительное восприятие, безопасность для здоровья (обзор) / А. Л. Закгейм // Светотехника. – 2012. – № 6. – С. 12–20.
4. Протокол № 71/83 от 5 июня 2013 г. – Державная установа «Донецький обласний лабораторний центр держсанепідслужби України».

Получено 07.05.2014 г.