

УДК 621.321

**Л. Костик, канд. техн. наук; Я. Осадца, канд. техн. наук;  
М. Липовецький**

*Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя*

## **ЕЛЕКТРОМАГНІТНА СУМІСНІСТЬ ЕНЕРГООЩАДНИХ ДЖЕРЕЛ СВІТЛА**

**Резюме.** Для дослідження електромагнітної сумісності енергоощадних джерел світла розроблено установку з використанням цифрового осцилографа та персонального комп'ютера, що дозволило вимірювати та обробляти споживані струми та напруги. На основі отриманих даних розраховано амплітуди гармонійних складових споживаного струму. Проведено порівняння амплітуд гармонійних складових струму з нормативними значеннями. Базуючись на проведених вимірюваннях, розраховано параметри електромагнітної сумісності досліджуваних джерел світла. Встановлено, що частка світлових приладів, у яких використовуються коректори коефіцієнта потужності, становить лише 27%, причому третина із них – з активним коректором. На основі порівняльного аналізу отриманих параметрів електромагнітної сумісності з нормативними встановлено, що близько 86% продукції, представленої на ринку України, не відповідає вимогам державного та міжнародного стандартів.

**Ключові слова:** електромагнітна сумісність, напівпровідникові джерела світла, компактна люмінесцентна лампа, гармонійна складова, коефіцієнт потужності.

**L. Kostyk, Y. Osadtsa, M. Lypovetskiy**

## **ELECTROMAGNETIC COMPATIBILITY OF ENERGY SAVING LIGHT SOURCES**

**Summary.** Taking into account the requirements of energy saving the most of lighting equipment is modernized taking advantage of contemporary energy-efficient light sources such as compact fluorescent and LED lamps. Due to the nonlinearity of their current-voltage characteristics it is necessary to research the energy efficiency of the light sources and the impact on network quality parameters, such as shape factor and harmonic coefficient. The analysis of scientific publications had revealed that at present not enough attention is given to this problem. Ignoring of power schemes features of such light sources leads to a significant reduction of lighting installations energy efficiency by emission of higher harmonic components into the electrical network.

For research of electromagnetic compatibility of energy efficient light sources the installation which consists of a digital oscilloscope and a personal computer is developed. It makes possible to measure and process the consumed currents and voltages. Based on the obtained experimental data the amplitude of harmonic components of current for energy-saving light sources that are most widely represented in Ukrainian market had been calculated. A comparison of the harmonic components amplitudes of the current consumption with standard values had been done. Based on carried out measurements the parameters of electromagnetic compatibility for compact fluorescent lamps and light devices with semiconductor light sources had been calculated. It was established, that the proportion of lighting devices that are using the power schemes with power factor correction is only 27%, and third part of them – with the active corrector. Based on comparative analysis of the obtained parameters of electromagnetic compatibility with normative parameters it was determined, that about 86% of products, that are represented on Ukrainian market, does not meet the requirements of standards ДСТУ IEC 61000-3-2:2004 and EN 61000-3-2: 2006 for 64% of the investigated devices the amplitude values of all harmonic components exceeding the normative values. Devices with the active corrector of power factor meet the standard, but their share in the lighting market is small (about 9%) because of their high cost.

**Key words:** *electromagnetic compatibility, semiconductor light sources, compact fluorescent lamp, harmonic component, power factor.*

#### **Умовні позначення**

ДС – джерело світла;  
ПРА – пускорегулювальна апаратура;  
СП – світловий прилад;  
КЛЛ – компактна люмінесцентна лампа/

**Постановка проблеми.** Одним із способів економії електричної енергії, яка споживається освітлювальними установками, є використання енергоощадних ДС, до яких відносяться енергозберігаючі КЛЛ та напівпровідникові ДС. Основними перевагами таких ДС є незначне споживання енергії, тривалий термін роботи та висока надійність. Крім того, дані ДС укомплектовані ПРА, яка змонтована в цоколях E27 або E14 ламп, що дозволяє виконувати пряму заміну ламп розжарення. В цілому такі ДС із ПРА можна вважати СП, що змінює якісні характеристики мережі. Причини таких змін пов'язані, насамперед, із нелінійністю вольт-амперних характеристик як люмінесцентних ламп [1] та напівпровідникових ДС, так і самих ПРА. У зв'язку з цим актуальною є проблема дослідження електромагнітної сумісності такого типу СП із мережею.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Дана проблема розглядалася в роботах [2–5]. Зокрема в роботі [2] проведено дослідження для СП типу СДП–27–Ш та 03–022 з індукційною лампою потужністю 150 Вт. Встановлено, що СП типу 03–022 з індукційною лампою потужністю 150 Вт, на відміну від СП на основі напівпровідникових ДС, не вносить суттєвих спотворень у мережу живлення. Також було встановлено, що використання СП з напівпровідниковими ДС потужністю понад 25 Вт вимагає застосування фільтрокомпенсаційних пристроїв. У роботі [3] встановлено вплив наявності коректора потужності на електромагнітну сумісність СП на основі напівпровідникових джерел світла. В якості досліджуваного було використано СП, який складається з 24 потужних напівпровідникових ДС, світловий потік яких становить 100 лм, та АС/DC драйвера з вихідним струмом 350 мА. Вказано, що за наявності коректора потужності коефіцієнт активної потужності для такого СП становить 0,93–0,97, а при відсутності коректора значення коефіцієнта активної потужності зменшується до 0,62. У роботі [4] проведено дослідження для СП на основі лінійних світлодіодних ламп і світлодіодних прожекторів з імпульсними стабілізаторами напруги та встановлено вплив напруги живлення СП на коефіцієнт гармонік й активної потужності. Результати досліджень показали, що при номінальній нарузі джерела живлення значення коефіцієнта гармонік для лінійної світлодіодної лампи не перевищує 0,5, коефіцієнта активної потужності – 0,6, а для прожектора потужністю 4 Вт, який складається із 60-ти світлодіодів, ті ж параметри становлять відповідно 0,3 і 0,4. Для світлодіодних ДС з імпульсним стабілізатором напруги значення коефіцієнта активної потужності практично не змінюється з підвищенням напруги живлення. В роботі [5] на основі отриманої осцилограми споживаного струму СП марки СДС – 70 було встановлено, що додаткові втрати електроенергії, викликані несинусоїдністю споживаного струму, становлять 13,3%.

На даний час виробниками світлотехнічної продукції пропонується широка номенклатура СП різної потужності з різними схемами ПРА, але питанню їх коректора потужності не приділяється належної уваги. Звідси постає задача дослідження електромагнітної сумісності СП різних виробників, які представлені на світлотехнічному ринку України. Також відомо, що форма струму, який споживається

СП із мережі, може відрізнитися від синусоїдної. Це призводить до появи вищих гармонійних складових споживаного струму, а, отже, до зменшення коефіцієнтів гармонік та активної потужності, через що збільшується реактивна складова. Для таких СП запроваджено нормування щодо допустимого рівня емісії вищих гармонік струму в електричну мережу [2,6]. Зокрема в стандартах [7,8] встановлено значення максимальних граничних гармонічних складових струму. Для джерел світла потужністю включно до 25 Вт ці значення приводяться у значеннях струму на одиницю споживаної потужності, а для джерел з потужністю понад 25 Вт – у відсотках відносно сили вхідного струму основної частоти (табл.1). Отже, постає задача розрахунку гармонійних складових споживаного струму та порівняння їх із нормативними значеннями.

**Таблиця 1**

Значення граничних гармонійних складових споживаного струму для освітлювального устаткування згідно зі стандартами [7,8]

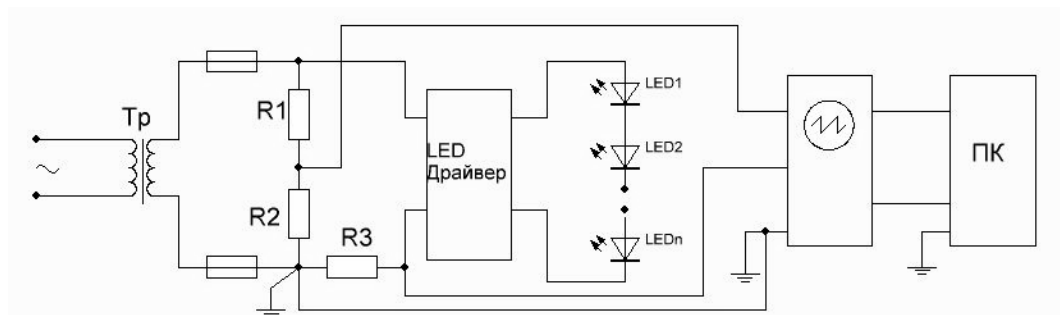
Порядок гармоніки	2	3	5	7	9	11	13	15	17	19	21	23	25	27	29	31	33	35	37	39
Потужність До 25 Вт		3,4	1,9	1	0,5	0,35	0,30	0,26	0,23	0,20	0,18	0,17	0,15	0,14	0,13	0,12	0,12	0,11	0,10	0,10
Потужність Понад 25 Вт	2	$30 \cdot \lambda^*$	10	7	5	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3

Примітка.  $\lambda$  – коефіцієнт потужності кола.

**Мета роботи** – дослідити електромагнітну сумісність СП на основі енергоощадних джерел світла, представлених на ринку України.

Завданнями, які ставились у даній роботі, були: отримання кривих споживаного струму СП на основі напівпровідникових джерел світла та енергозберігаючих КЛЛ, розрахунок гармонійних складових сил струму та їх порівняння з нормативними величинами.

Для дослідження електромагнітної сумісності було використано осцилографічний метод, в основі якого лежить дослідження осцилограм струму та напруги. Для цього було розроблено установку, схему якої наведено на рис.1.



**Рисунок 1.** Схема установки для отримання осцилограм споживаного струму

**Figure 1.** Experimental setup for obtaining oscillograms of consumed current

Для візуалізації та збереження інформації використали комплект – цифровий осцилограф Hantek-6022BE та комп'ютер (ПК). Це дало можливість зберігати вимірювані величини у форматах .txt та .bmp. Вимірювання проводились із

увімкненням узгодженого трансформатора  $T_r$  та заземленням не тільки ПК й осцилографа, але й корпусу вимірювальної установки, оскільки більшість цифрових осцилографів не мають гальванічної розв'язки. Інформація з осцилографа надійшла на ПК, де оброблялася за допомогою пакета MATLAB.

Дослідження проводились для світлових приладів, до складу яких входить електронний ПРА або LED драйвер та джерело світла (на рисунку – сукупність світлодіодів). Для вимірювання напруги мережі використовували подільник, виконаний на базі опорів R1 та R2, а для вимірювання струму – резистор R3. Номінали резисторів вибирали таким чином, щоб забезпечити оптимальні величини вимірювального сигналу та мінімальний вплив на параметри схеми.

За допомогою даної вимірювальної схеми були проведені дослідження та перевірка на відповідність стандартам для енергозберігаючих КЛЛ виробництва фірм «MAXUS», «OSRAM», «ULTRA», «АСКО-УКРЕМ», «Іскра», «Наша сила» потужністю від 18 до 55 Вт, а також для ламп та прожекторів на основі напівпровідникових ДС виробництва «OSRAM», «LEMANSO», «Vito» потужністю від 6 до 50 Вт. Приклади отриманих осцилограм споживаної напруги (1) та струму (2) наведені на рис.2. На основі аналізу отриманих осцилограм, досліджувані джерела світла можна поділити на три основні групи: без коректора коефіцієнта потужності (рис.2а), з пасивним коректором (рис.2б) та з активним коректором (рис.2в).

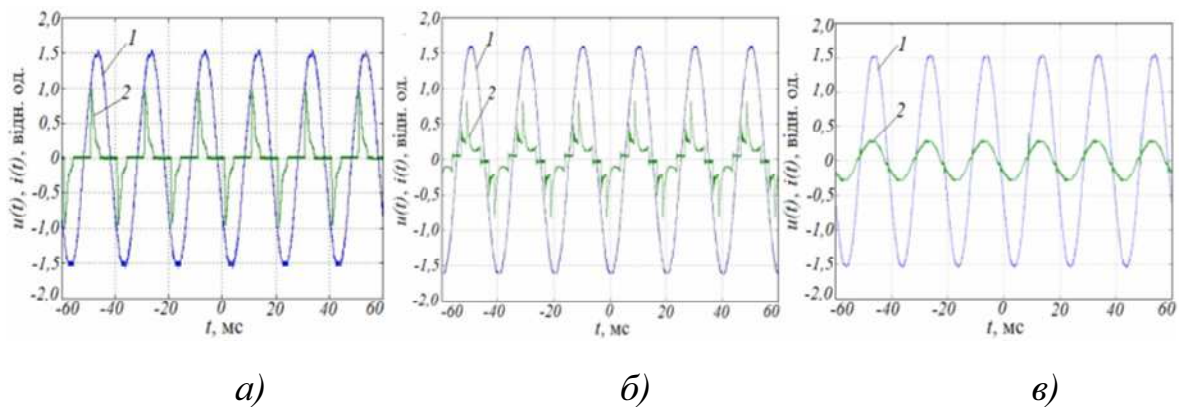


Рисунок 2. Осцилограми споживаних напруг та струмів

Figure 2. Oscillograms of consumed voltages and currents

Значення амплітуд гармонічних складових струму визначали за формулами [9]

$$I_0 = \frac{1}{n} \cdot \sum_{p=1}^{p=n} [i_p(\omega \cdot t)], I_k = \sqrt{B_k^2 + C_k^2}, \quad (1)$$

де  $I_0$  – значення нульової гармонічної складової струму;  $n$  – кількість отриманих значень функції  $i(\omega \cdot t)$ ;  $A_k$  – значення амплітуди  $k$ -ї гармонічної складової струму;  $B_k, C_k$  – відповідно амплітуда синусної та косинусної складових  $k$ -ї гармоніки струму, які розраховуються за формулами

$$B_k = \frac{2}{n} \cdot \sum_{p=1}^{p=n} [i_p(\omega \cdot t) \cdot \sin_p(k \cdot \omega \cdot t)], C_k = \frac{2}{n} \cdot \sum_{p=1}^{p=n} [i_p(\omega \cdot t) \cdot \cos_p(k \cdot \omega \cdot t)].$$

Значення коефіцієнта активної потужності  $\cos \varphi$  та коефіцієнта гармонік  $K_g$  отримані на основі формул

$$\cos \varphi = \frac{P}{U \cdot I} = \frac{\frac{1}{n} \cdot \sum_{p=1}^{p=n} [i_p(\omega \cdot t) \cdot u_p(\omega \cdot t)]}{\sqrt{\sum_{k=0}^{k=39} U_k^2} \cdot \sqrt{\sum_{k=0}^{k=39} I_k^2}}, \quad K_g = \frac{I_1}{\sum_{k=0}^{k=39} I_k}, \quad (2)$$

де  $U$ ,  $I$  – відповідно діючі значення напруги та струму.

На основі отриманих осцилограм за формулами (1) та (2) були проведені розрахунки амплітуд гармонічних складових, коефіцієнта активної потужності та коефіцієнта гармонік. На рис.3 наведені гармонійні складові споживаного струму (1) в порівнянні з нормативними даними (2) для енергозберігаючої КЛЛ марки OSRAM 18W (а), та ламп на основі напівпровідникових джерел світла Lemanso 12W (б) і OSRAM 10W (в). Зображення гармонійних складових, наведених на рис.3 відповідають осцилограмам, зображеним на рис.2. Значення гармонійних складових та їх відповідність нормативним даним для інших СП на основі КЛЛ та на основі напівпровідникових джерел світла наведено в табл.2.

Після проведення порівняльного аналізу на відповідність вимогам стандартів встановлено, що в 73% СП, представлених на ринку України, відсутній коректор коефіцієнта потужності. Типова осцилограма споживаного струму таких СП представлена на рис.2а, а амплітудні значення всіх вищих гармонік перевищують нормовані значення (рис.3а).

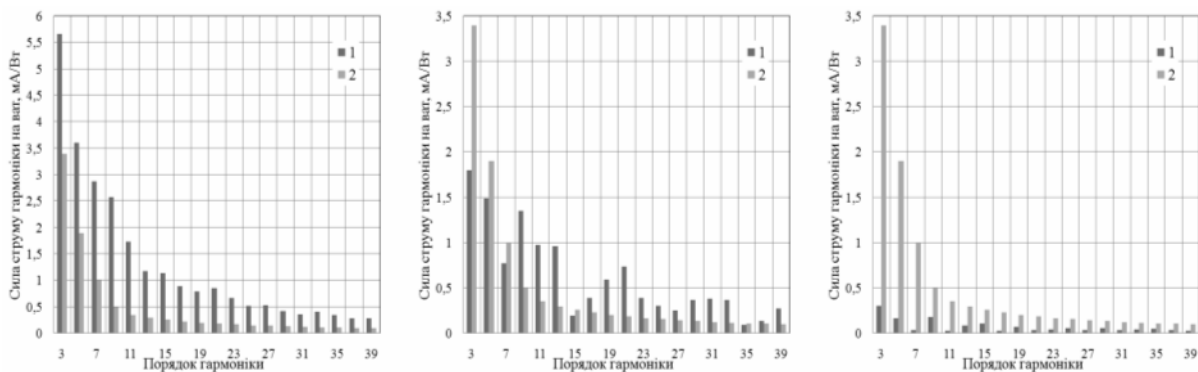


Рисунок 3. Гармонійні складові споживаного струму (1) в порівнянні з нормативними даними (2)

Figure 3. Harmonic components of consumed current (1) compared with normative data (2)

Таблиця 2

Значення гармонійних складових та їх відповідність нормативним даним

Лампи типу КЛЛ																							
Порядок гармоніки		2	3	5	7	9	11	13	15	17	19	21	23	25	27	29	31	33	35	37	39	cos φ, відн. од.	K <sub>g</sub> , відн. од.
Марка	Коректор потужності																						
Osram 18 W	-		5,67	3,61	2,88	2,57	1,74	1,18	1,14	0,89	0,80	0,86	0,67	0,52	0,53	0,42	0,36	0,41	0,35	0,29	0,29	0,55	0,23
Maxus spirial 20W	-		5,22	3,21	2,50	2,13	1,31	0,84	0,73	0,53	0,65	0,67	0,54	0,56	0,49	0,39	0,44	0,41	0,33	0,31	0,24	0,59	0,24
Maxus spirial (IESL-230)	-		5,14	3,37	2,55	2,24	1,58	0,98	0,84	0,65	0,65	0,60	0,49	0,48	0,39	0,28	0,31	0,31	0,27	0,26	0,55	0,23	
Maxus spirial (IESL-29)	-		4,85	3,61	2,80	2,62	2,46	2,03	1,55	1,25	1,06	0,84	0,67	0,63	0,57	0,45	0,36	0,32	0,27	0,19	0,15	0,50	0,17
Maxus Supermax 20W	-		4,60	2,99	2,32	2,10	1,52	1,02	0,89	0,66	0,53	0,62	0,57	0,49	0,48	0,41	0,33	0,31	0,25	0,22	0,24	0,59	0,22
АСКО-УКРЕМ 20W	-		4,59	3,16	2,38	2,16	1,70	1,12	0,88	0,77	0,55	0,50	0,55	0,47	0,38	0,35	0,28	0,20	0,19	0,15	0,10	0,53	0,22
Іскра КЛС 20W	-		5,19	3,32	2,56	2,25	1,51	0,98	0,93	0,73	0,63	0,69	0,56	0,46	0,47	0,38	0,29	0,31	0,26	0,20	0,20	0,58	0,23
Іскра КЛС 24W	-		5,16	3,20	2,51	2,10	1,25	0,84	0,77	0,53	0,58	0,57	0,41	0,41	0,35	0,25	0,30	0,26	0,21	0,22	0,17	0,62	0,25
Наша сила 25 W	-		5,00	3,28	2,50	2,18	1,49	0,94	0,97	0,88	0,76	0,78	0,66	0,49	0,46	0,39	0,29	0,30	0,27	0,18	0,16	0,54	0,22
Ultra LN 45 W	A**	0,18	25,20* 21,38	7,88	14,77	3,20	9,46	3,39	1,31	4,54	4,04	1,50	3,19	2,72	0,46	2,53	2,18	0,39	2,47	1,49	0,39	0,84	0,53
Maxus 4U 55W	-	0,93	15,30* 81,41	58,52	44,96	40,75	33,59	23,06	16,82	14,94	11,58	7,83	7,08	6,27	4,03	2,89	2,85	1,89	1,24	1,48	0,95	0,51	0,21

Лампи на основі напівпровідникових джерел світла																							
Порядок гармоніки		2	3	5	7	9	11	13	15	17	19	21	23	25	27	29	31	33	35	37	39	cos φ, відн. од.	K <sub>g</sub> , відн. од.
Марка	Коректор потужності																						
Osram 6W	-		5,28	4,53	3,60	2,68	1,91	1,42	1,15	0,98	0,77	0,56	0,40	0,34	0,32	0,27	0,20	0,13	0,11	0,11	0,09	0,48	0,18
Osram 10W	A		0,30	0,16	0,04	0,18	0,03	0,08	0,10	0,03	0,07	0,03	0,04	0,05	0,03	0,05	0,03	0,04	0,05	0,03	0,03	0,88	0,82
Lemanso 12W	П***		1,80	1,49	0,77	1,35	0,97	0,96	0,19	0,39	0,59	0,73	0,39	0,30	0,25	0,37	0,38	0,37	0,09	0,14	0,27	0,72	0,33
Lemanso 15W	П		1,54	1,35	1,31	1,35	1,13	0,52	0,58	0,45	0,82	0,32	0,33	0,26	0,51	0,29	0,28	0,13	0,19	0,26	0,23	0,74	0,32

Напівпровідникові прожектори																							
Порядок гармоніки		2	3	5	7	9	11	13	15	17	19	21	23	25	27	29	31	33	35	37	39	cos φ, відн. од.	K <sub>g</sub> , відн. од.
Марка	Коректор потужності																						
Floodnight 20W	-		4,03	3,46	2,79	2,20	1,82	1,64	1,51	1,34	1,11	0,87	0,69	0,57	0,49	0,41	0,31	0,24	0,19	0,17	0,13	0,45	0,15
Vito 10W	-		6,04	4,81	3,48	2,51	2,10	1,96	1,72	1,40	1,14	1,03	0,93	0,77	0,60	0,50	0,47	0,41	0,32	0,27	0,28	0,49	0,18
Vito 30W	-	0,55	14,70 87,58	68,10	49,29	38,49	34,60	30,79	24,43	17,79	13,81	11,71	9,13	6,18	4,72	4,44	3,71	2,59	2,17	2,21	1,72	0,49	0,19
Vito 50W	-	0,70	16,20 88,03	67,77	45,27	27,56	20,01	18,15	14,86	9,71	5,94	5,69	5,42	3,72	1,91	2,08	2,32	1,56	0,57	1,04	1,29	0,54	0,23

Примітки. \* – нормативні значення; \* \* – наявність активного коректора потужності; \* \* \* – наявність пасивного коректора потужності.

Частка СП з пасивним коректором коефіцієнта потужності становить близько 18%. Для таких СП спостерігається часткова невідповідність стандартам (рис.3б). Зокрема нормативним вимогам відповідають лише значення третьої, п'ятої та сьомої амплітуд гармонійних складових споживаного струму. Прилади з активним коректором коефіцієнта потужності хоч і відповідають стандарту, але їх частка на світлотехнічному ринку є незначною (близько 9%) через їх високу вартість.

**Висновки.** На основі комплекту – цифровий осцилограф Hantek-6022BE та ПК розроблено схему установки для отримання кривих споживаного струму, що дозволяє зберігати результати вимірювань у форматах .txt та .bmp.

Проведено вимірювання кривих споживаних струмів та напруг, здійснено розрахунок параметрів електромагнітної сумісності енергозберігаючих КЛЛ, а також ламп та прожекторів на основі напівпровідникових джерел світла потужністю від 6 до 55 Вт фірм-виробників, представлених на світлотехнічному ринку України. Встановлено, що частка світлових приладів, в яких використовуються схеми живлення із корекцією коефіцієнта потужності, становить лише 27%, причому третина з них – із активним коректором.

Проведено порівняльний аналіз відповідності параметрів електромагнітної сумісності даних ДС з нормативними величинами. Встановлено, що близько 86% продукції, представленої на ринку України, не відповідає вимогам стандартів ДСТУ ІЕС 61000-3-2:2004 та EN 61000-3-2:2006. Причому для 64% досліджуваних приладів амплітудні значення усіх гармонійних складових перевищують нормативні.

**Conclusions.** Basing on a set digital oscilloscope Hantek-6022BE and PC the scheme of the installation for receiving of consumed current curves, that allows to store the measurement results in formats .txt and .bmp was developed.

The measurements of consumed currents and voltages curves as well as the calculations of electromagnetic compatibility parameters had been done for energy saving CFL and spotlights, that are based on LED with power from 6 to 55 W for manufacturers represented on the lighting Ukrainian market. It was established, that the portion of lighting devices, in power schemes with correction of power factor are used is only 27%, the third part of them begin with the active corrector.

On the base of comparative analysis of the electromagnetic compatibility parameters with normative values it was established, that 86% of products on the Ukrainian market does not meet the standards of ДСТУ ІЕС 61000-3-2:2004 and EN 61000-3-2: 2006. Moreover for 64% of investigated devices the amplitude values of all harmonic components exceed the normative.

#### **Список використаної літератури**

1. Лупенко, А. Метод широтно-імпульсного регулювання потужності розрядних джерел світла [Текст] / А. Лупенко, Л. Мовчан, В. Натяга, І. Сисак // Технічна електродинаміка. – 2011. – №2. – С. 24–29.
2. Евминов, Л. И. Сравнительный анализ различных источников света и оценка электромагнитной совместимости безэлектродных (индукционных) и светодиодных источников света [Текст] / Л. И. Евминов, В. С. Кизева // Вестник ГГТУ им. П. О. Сухого. – 2013 – №1. – С. 60–67.
3. Терехов Г. Проблемы явных и скрытых энергетических потерь в светодиодных осветительных приборах [Текст] / Г. Терехов, А. Булдыгин // Современная светотехника. – 2010. – №2. – С. 38–40.
4. Дослідження електричних параметрів світлодіодних джерел світла [Текст] / І. Белякова, В. Медвідь., В. Пісьціо; Р. Трембач // Науковий журнал «Вісник Тернопільського національного технічного університету». – 2014. – №3(75). – С. 180–187.
5. Гужов, С. Оценка влияния источников питания светодиодных светильников на питающую сеть [Текст] // Современная светотехника. – 2009. – №2. – С. 47–49.
6. Бурма, М. Г. Світлорегулювання в установках з потужними СД модулями [Текст] / М. Г. Бурма, В. Ф. Рой, О. Ю. Поліщук // Світлотехніка та електроенергетика. – 2012. – №2. – С. 13–17.
7. EN 61000-3-2:2006+A1+A2 Electromagnetic compatibility (EMC) — Part 3 – 2: Limits — Limits for harmonic current emissions (equipment input current  $\leq 16$  A per phase).
8. ДСТУ ІЕС 61000-3-2:2004. Електромагнітна сумісність. Частина 3-2. Норми. Норми на емісію гармонік струму (для сили вхідного струму обладнання не більше 16 А на фазу). – К.: Держспоживстандарт України, 2007. – 24 с.

9. Бессонов, Л. А. Теоретические основы электротехники: Электрические цепи: учебник для студентов электротехнических, энергетических и приборостроительных специальностей вузов. – 7-е изд., перераб. и доп. [Текст] / Л. А. Бессонов. – М. : Высш. школа, 1978. – 528 с.

*Отримано 07.05.2015*