

Р.Пилипчук¹; В.Щиренко²

¹*Тернопільський Державний технічний університет
імені Івана Пулюя*

²*ОСП Корпорація "Ватра", Тернопіль*

ПРОБЛЕМА ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ В ОСВІТЛЮВАЛЬНИХ УСТАНОВКАХ

Розглянуто проблеми енергозбереження в освітлювальних установках та методи їх вирішення.

Проблема енергозбереження в освітлювальних установках всіх країн світу, не тільки передових, але й таких, що розвиваються, набула за останні роки особливого значення. При цьому від успіхів у вирішенні цієї проблеми багато в чому залежить майбутнє людської цивілізації не тільки в зв'язку з поступовим вичерпуванням горючих копалин, які ідуть на вироблення електроенергії, але й із-за швидкого забруднення навколишнього середовища і викидами в атмосферу шкідливих речовин (диоксидів вуглецю і сірки, а також ртуті), утворених в результаті згоряння палива при виробленні електроенергії. Відомо, що при виробленні на теплових електростанціях (працюючих на вугіллі) 1 кВт год. електроенергії в атмосферу викидається біля 1 кг CO₂. Проблема в значній мірі пов'язана також з неперервним збільшенням масштабів освітлювальних установок (ОУ) і використанням в них електроенергії.

Доля електроенергії, яка витрачається в ОУ різних країнах світу, показана в таблиці 1. Як видно на освітлення направляється до 20% всієї електроенергії.

Таблиця 1

Країна	E_Σ	E_{пром.}	E_{житл.}	E_{адм.}
Україна	15	33	32	35
США	20	11	23	66
Німеччина	10	32	25	43
Японія	15	55	27	18
Індія	17	9	28	60
Бразилія	17	2	25	44

По оцінках метеорологів, глобальне потепління на нашій планеті розпочалось приблизно в 1978 р. і викликане так званим "парниковим ефектом" - накопиченням в атмосфері "парникових" газів, в першу чергу двоокису вуглецю (CO₂). Основний вклад в загальний об'єм викидів CO₂ припадає на частку вугілля і інших видів палива, які згоряють на теплових електростанціях (ТЕС). Світові

II міжнародна науково-технічна конференція

витрати електроенергії на штучне освітлення на початку 2002 року спричиняють щорічні викиди в атмосферу до 300 млн. тон CO₂. По прогнозах американського Worldwatch Institute, до 2010 р. ця цифра може збільшитись до 450 млн. т/рік.

Стабільність температури навколишнього середовища є одним із основних умов існування життя. Головними механізмами, які забезпечують стабільність температури на поверхні Землі, є випромінювання Сонця і парниковий ефект.

Явище “парникового ефекту” заключається в тому, що після відбивання від поверхні Землі частина сонячної енергії не повністю розсіюється в космічному просторі. Значна частина теплового випромінювання утримується парниковими газами, які входять в склад атмосфери Землі. Завдяки цьому температура підвищується на 33°C. Без парникового ефекту температура біля поверхні Землі не перевищувала б -18°C, а це означає відсутність умов для життя, тому що вода на земній поверхні існувала б тільки у вигляді льоду.

Багаторічний моніторинг виявив яскраво виражену тенденцію до підвищення середньорічної температури. Більшість спеціалістів зв'язують це явище з підвищенням концентрації газів, яке прийнято називати парниковими. Антропогенні викиди CO₂, CH₄ і N₂O, які відносяться до групи парникових газів, здатні в значній степені збільшити парниковий ефект. Результатом цього може бути підвищення середньорічної температури на протязі XXI століття на 2...5°C. Цей процес буде здійснюватися рівномірно. В одних регіонах температура буде мінятися швидше, в інших – повільніше. Результатом цього буде зміна циркуляції вітрів і перерозподіл опадів. Це, в свою чергу, приведе до збільшення вологості в одних регіонах і до засух в інших. Зміна температури, кількості опадів і рівня моря відобразиться на життєдіяльності людей. Особливо суттєво вплив глобального потепління буде відчуватися в прибережних зонах. Деякі з них просто зникнуть. Значно збільшиться ерозія ґрунту, більш частішими стануть повені, затоплення прибережних територій, збільшиться кількість зволжених земель. В сільському господарстві виникне необхідність в іригаційних міроприємствах, зміниться врожайність і кількісний склад культур, а це, в свою чергу, відобразиться на тваринництві. В енергетичному секторі найбільш вразливою буде гідроенергетика.

Шляхи вирішення проблем: зменшення викидів і збільшення поглинання парникових газів.

Відповідні міжнародні і національні організації розробили цілий ряд заходів, направлених на запровадження енергоефективних технологій, в тому числі реалізацію першечергових кроків по економії електроенергії в установках внутрішнього і зовнішнього освітлення.

"СВІЛОТЕХНІКА Й ЕЛЕКТРОТЕХНІКА: ІСТОРІЯ, ПРОБЛЕМИ Й ПЕРСПЕКТИВИ"

Міжнародне енергетичне агенство (IEA) і Товариство економічного співпраці і розвитку (OECD), разом з міжурядовим договором на Всесвітній конференції Earth Summit про різке скорочення забруднення атмосфери, разом з Європейським міністерством навколишнього середовища запропонували програму, здійснення якої може знизити витрати електроенергії на освітлення в середньому на 60%. До числа реальних заходів підвищення енергоефективності ОУ і, відповідно, зниження викидів CO₂ під час роботи теплоелектростанцій відносяться перш за все:

1) широке впровадження в ОУ житлових і громадських споруд КЛЛ шляхом прямої заміни ними ЛР;

2) перехід в ОУ промислових і громадських споруд на ОП з лінійними ЛЛ нового покоління з високою світловіддачею (≥ 100 лм/Вт);

3) використання електронних ПРА замість електромагнітних в світильниках з ЛЛ і КЛЛ;

4) автоматизований контроль і керування освітленням в залежності від інтенсивності природнього світла і за допомогою датчиків присутності;

5) більш ефективне використання природнього світла в світлий час доби за рахунок застосування активних світло-перерозподіляючих елементів на світлопройомах (як бокових, так і стельових).

Ось деякі, досить цікаві результати розрахункових прогнозів про економічні і екологічні вигоди масового застосування КЛЛ в побуті країн Західної Європи (по даних Philips Lighting и Osram). Якщо в кожному із – 145 млн. одиниць домашніх господарств країн Європейського Союзу 3 шт. ЛР по 60 Вт будуть замінені еквівалентними по світловому потоку трьома КЛЛ по 11 Вт з вмонтованими електронними ПРА, то при середньому напрацюванні 4 г/добу можна отримати річну економію електроенергії, еквівалентну ліквідації на європейському континенті десяти теплоелектростанціям потужністю 600 МВт кожна. По розрахунках фірми Osram, заміна - 35 млн. домашніх господарств Німеччини тільки однієї ЛР 60 Вт на КЛЛ 11 Вт дозволила б за строк служби в 10 тис. год зекономити близько 17,5 млн. кВт·год., що рівнозначне зниженню в ТЕС витрат кам'яного вугілля на 5 млн. т/рік і, відповідно, скороченню викидів CO₂.

Заслужують уваги і оцінки спеціалістів Siemens AG відносно перспективних результатів широкого впровадження високочастотних електронних ПРА при реконструкції старих і облаштуванні нових внутрішніх ОУ з ЛЛ. Якщо б всі ЛЛ, які експлуатуються в спорудах Німеччини (більше 300 млн. шт.), працювали з електронним ПРА (замість електромагнітних), то економія електроенергії склала приблизно 6,5 млрд. кВт·год./рік. Цей потенціал еквівалентний річному

II міжнародна науково-технічна конференція

споживанню 2 млн. т вугілля в звичайних ТЕС або річному виробленню електроенергії на німецькій АЕС Isar I. Така економія електроенергії дозволила б зменшити викид CO₂ орієнтовно на 6 млн. т щорічно! Це послужило б суттєвим вкладом в справу захисту навколишнього середовища, якщо врахувати, що в Німеччині на освітлення витрачається близько 50 млрд. кВт·год./рік (9 – 10% від загального об'єму виробленої електроенергії), а ТЕС, які виробляють електроенергію, викидають в атмосферу більше 27 млн. т CO₂ в рік.

В рамках здійснення енергозберігаючої програми SAVE Європейська енергетична комісія провела дослідження по виявленню першочергових заходів по економії електроенергії на штучне освітлення. При цьому було виявлено, що всі ОУ з ЛЛ в Західній Європі споживають щорічно 10 млрд. кВт·год (тВт·год), що рівне загальній річній витраті електроенергії в Бельгії і Португалії на всі промислові і господарські потреби.

Переважні області застосування освітлювальних приладів з ЛЛ – це виробничі, адміністративно-управлінські, учбові, лікувальні заклади, музеї і ряд інших об'єктів. Звичайно, що зниження власних втрат ПРА в світильниках, які застосовуються в великих кількостях для загального освітлення приміщень, створює оптимістичні передумови для зменшення витрат електроенергії в ОУ з ЛЛ.

Енергетична комісія внесла в Європейський парламент пропозиції по регламентації вимог до підвищення енергоефективності ПРА для ЛЛ на базі класифікації, розробленої CELMA – Європейської асоціації виробників освітлювальних приладів. Метою цієї акції є поетапне, протягом декількох років, скорочення обсягів випуску і застосування електромагнітних ПРА (як зі стандартним, так і з пониженим рівнем втрат) і широкомасштабне впровадження в нові і системи освітлення світильників, що модернізуються, оснащеними енергоекономічними електронними ПРА. Якщо ці пропозиції будуть реалізовані, то до 2020 р. в регіоні Європейського Союзу в установках внутрішнього освітлення з ЛЛ можна буде розраховувати на економію до 12 млрд. кВт·год/рік і зниження емісії CO₂ на ТЕС в атмосферу приблизно на 6 млн.т/рік. Розрахунки показали, що реально економія електроенергії, яка досягається в установках внутрішнього освітлення при широкому використанні нових світильників з ЛЛ високої світловіддачі і електронних ПРА, світло регулюючих систем і ефективних методів природнього освітлення може скласти 75%; це відповідно обумовить зниження емісії CO₂ в 2 рази.

Експерти фірми Philips Licht переконливо довели, що при реконструкції всіх ОУ промислових і громадських споруд в Німеччині з використанням ЛЛ з підвищеною світловіддачею (90 – 100 лм/Вт) і електронних ПРА, а також ОП з ККД \geq 70% можна в середньому добитися зниження питомої потужності освітлення з 25 до 10 Вт/м² без

"СВІЛОТЕХНІКА Й ЕЛЕКТРОТЕХНІКА: ІСТОРІЯ, ПРОБЛЕМИ Й ПЕРСПЕКТИВИ"

погіршення його кількісних і якісних світлотехнічних параметрів. Це дозволило б реально розраховувати на економію електроенергії більше 2 млрд. Євро (діючий в Німеччині тариф на промислову електроенергію рівний 0,078 Євро/кВт год). Кількість щорічно зекономленого кам'яного вугілля на ТЕС при цьому склало б 8,5 млн. т, а це значить, що при економії, яку отримуємо від скорочення питомої потужності ОУ в 2,5 рази об'єм викидів CO₂ в атмосферу знижується на 25,4 млн. т/рік.

Характерно, що в Україні, на відміну від промислово розвинутих країн Заходу, має місце надмірне споживання електроенергії у промисловості і водночас зниження її норми на освітлення квартир. Останній фактор, зумовлений не достатньою поки що забезпеченістю населення житловою площею та відносно низькими доходами населення. І все ж соціальна невлаштованість, хочеться вірити, явище швидкоминуче, не настільки принципове, щоб стримувати поступ світлотехніки. Тим паче, що саме такий прогрес обіцяє народному господарству неабиякий економічний вигравш. Судіть самі. Перехід від світильників із традиційними лампами розжарювання (середня потужність кожного 120 Вт) на енергоекономні дасть можливість знизити встановлену потужність і споживану електроенергію не менше, як на 70 (!) процентів. При оновленні хоча б п'ятої частини світильників із лампами розжарювання до 2006 року, що цілком реально, сумарне зниження потужності становитиме більше 3 млн. кВт. Таким чином щорічна економія енергії сягатиме понад 6 млрд. кВт/год.

На даний час стан освітлення в Україні може бути розцінений як критичний. Ось, що, на підтвердження сказаного, говорить всезнаюча статистика. Системи освітлювальних установок в понад 60% виробничих площ промислових будівель, 75% приміщень адміністративних закладів, у тому числі понад три четверті шкіл та інших навчальних приміщень, біля дев'яносто відсотків зовнішнього освітлення взагалі не відповідають нормативним вимогам. Основними причинами такого становища є дефіцитність економних джерел світла та освітлювальних приладів, експлуатація фізично застарілих виробів. Крім цього більшість вітчизняних аналогів за своїм технічним рівнем ще поступаються виробам передових закордонних фірм.

Нині для потреб освітлення в народногосподарському комплексі України використовується понад 260 млн. штук приладів, які споживають електроенергії приблизно 14% від загального виробництва. Парк світильників України (в шт.) приведений на рис. 1. Парк світильників з різними джерелами світла в Україні і за кордоном приведений на рис. 2. Однак ці цифри аж ніяк не свідчать про максимальну ефективність освітлення. Швидше - навпаки.

II міжнародна науково-технічна конференція

Через низьку ефективність джерел світла і світлових приладів питома вага витрат електроенергії на виготовлення світлової енергії в 1,5 раза вища, ніж у західних країнах.

Структура парку світильників з різними джерелами світла в Західній Європі (в %) приведена на рис. 3.

Парк світильників в різних галузях народного господарства приведений на рис. 4.

Основними причинами такого стану є:

1) використання малоєфективних світильників оснащених високовитратними лампами розжарення;

2) експлуатація фізично зношених приладів, в яких відбивачі та розсіювачі понизили свої оптичні характеристики.

Нераціональність використання електроенергії пов'язана насамперед із тим, що велика група світильників для промислового освітлення має низький коефіцієнт корисної дії і малоєфективний розподіл сили світла. Для вирішення енергетичних і екологічних проблем пов'язаних з електричним освітленням, необхідно значно підвищити ефективність використання електроенергії в ОУ.

Рішення цих проблем, на наш погляд зводиться до вирішення чотирьох основних задач.

1. Удосконалення засобів освітлення за рахунок застосування прогресивних СП.

2. Удосконалення способів освітлення за рахунок впровадження нових принципів проектування й нормування освітлення.

3. Покращення експлуатації ОУ.

4. Стимулювання споживачів електроенергії за використання енергозберігаючих джерел світла.

З наведених вище проблем з економії електроенергії перша є найважливіша, яка створює базу для вирішення всіх інших. Вирішувати цю задачу необхідно двома шляхами, або точніше у два етапи.

Перший етап - заміна в освітлювальних установках світильників із лампами розжарювання (ЛР) на світильники з газорозрядними лампами, в першу чергу на люмінесцентні (ЛЛ) і газорозрядні лампи високого тиску (ГЛВТ, ДРЛ, ДРІ, ДНаТ). Адже, середня економія електроенергії, при заміні ЛР на ЛЛ складає - 64%, а ЛР на ГЛВТ складає - 70%. Тому при проектуванні нових ОУ, або реконструкції діючих, вибір джерел світла повинен здійснюватись, як правило, на основі техніко-економічного порівняння варіантів освітлення конкретного об'єкта з урахуванням всіх капітальних та експлуатаційних затрат.

Проте, враховуючи стійку тенденцію випереджуючого зростання ціни на електроенергію в порівнянні з ростом цін на

"СВІЛОТЕХНІКА Й ЕЛЕКТРОТЕХНІКА: ІСТОРІЯ, ПРОБЛЕМИ Й ПЕРСПЕКТИВИ"

світлотехнічні вироби, можна сміливо сказати, що економія електроенергії буде вирішальним фактором у визначенні ефективності ОУ. Оскільки світловіддача газорозрядних ламп в 3-6 разів вища ніж ЛР, а строк служби в 8-10 разів, то проектним організаціям необхідно розширювати й впроваджувати нові зони використання газорозрядних ламп високого тиску. Заміна світильників із ЛР на світильники з ЛЛ і ГЛВТ при наших умовах окупить себе на протязі року, при цьому значно збільшиться освітленість робочих місць. Економія електричної енергії за рахунок заміни джерел світла приведена на рис. 5.

Другий етап - це розробка, освоєння та застосування в ОУ нових СП з високо інтенсивними енергоекономними лампами, ефективним світлорозподіленням, ПРА з пониженими втратами і з електронним ВЧ ПРА.

При використанні ефективних засобів освітлення витрати електроенергії можна знизити майже вдвічі. Основні напрями вирішення цього важливого завдання полягатимуть у вдосконаленні засобів і методів освітлення та покращенні експлуатації освітлювальних приладів.

Удосконалення засобів освітлення включає передусім роботу над такими важливими проблемами, як:

- 1) підвищення коефіцієнта корисної дії;
- 2) стабілізація світлового потоку джерел світла в процесі служби;
- 3) розробка, виробництво і використання світлових приладів з ефективним світлорозподілом;
- 4) стабілізація характеристик освітлювальних приладів під час експлуатації.

Світильники, які виготовляються, класифікуються за світлотехнічними параметрами і конструктивними характеристиками. Вибираючи виріб, необхідно врахувати його конструктивне виконання, світлорозподіл, яскравість та економію. Від правильного вибору світильника та його розміщення залежить якість освітлення у приміщенні: його рівномірність, розподіл яскравості по внутрішніх поверхнях, ступінь прямого й відбитого блиску та затінення робочого місця, оптимальне тінеутворення.

Правильний вибір освітлювальних приладів за світлорозподілом дає мінімальні затрати електроенергії. Можлива її економія внаслідок використання світильників з ефективним для заданих умов світлорозподілом складає 15–20 відсотків при малих висотах приміщення і 20 - 40 відсотків - при високих. Так, при заміні дифузних люмінесцентних світильників на дзеркальні, можна зекономити до 30% електроенергії. Економія електроенергії при використанні ОП з ефективними КСС приведена на рис. 6/

II міжнародна науково-технічна конференція

Згідно результатів аналізу проведених на замовлення Департаменту енергетики США випливає, що від 64 до 71% електроенергії, яка споживається ОП громадських будівель можна зекономити, якщо використати всі відомі сучасні технології підвищення ефективності освітлення.

Важливим завданням є законодавче закріплення енергозберігаючих вимог до світлотехнічних виробів в стандартах, нормах і правилах.

Крім норм штучного освітлення з традиційною регламентацією освітленості стандартами DIN (Німеччина), ANSI/IESRPS3, ASHRAE/IES 90/1-89 (США) діють стандарти з енергозбереження, де критерієм оцінки раціонального енергоспоживання є гранично допустима питома потужність ОП (Вт/м²).

Максимально допустима потужність, що споживається внутрішнім освітленням, визначається двома методами:

1. Метод обліку площі будинку. Обчислюється потужність, що споживається ОП всього будинку. Для кожної категорії будинків (адміністративних, торгових, житлових):

$$P_{гр.б} = S(m^2) \times \lambda_б(Вт/м^2),$$

де $\lambda_б$ – гранично допустима питома потужність ОП для даної категорії будинків;

S – площа будинку.

2. Метод обліку окремих приміщень.

Гранично споживана ОП будинку потужність обчислюється з використанням індивідуальних значень $\lambda_{пр}$ для кожного приміщення всередині будинку:

$$P_{гр.пр.} = S(m^2) \lambda_{пр.} (Вт/м^2)$$

де $P_{гр.пр.}$ – гранично допустима потужність, що споживається ОП приміщення;

$\lambda_{пр.}$ – гранично допустима питома потужність для даного типу приміщень.

Значення $\lambda_{пр.}$ нормується для кожного типу приміщення. Для одержання гранично допустимої потужності ОП будинку сумується $P_{гр.пр.}$ всіх його приміщень.

$$P_{гр.б} = \sum P_{гр.пр.}$$

Законодавче введення обмежень максимальних значень питомої потужності стимулює використання найбільш ефективних джерел світла, світлових приладів і методів освітлення.

"СВІЛОТЕХНІКА Й ЕЛЕКТРОТЕХНІКА: ІСТОРІЯ, ПРОБЛЕМИ Й ПЕРСПЕКТИВИ"

При цьому, оскільки збережені вимоги до нормованої освітленості, неминучою є регламентація світлової віддачі джерел світла, які використовуються, коефіцієнта корисної дії світильника, ефективності комплексу джерело світла - ПРА.

Так в діючому в США стандарті ASHRAE/IES90.1 з ефективного використання електроенергії на освітлення, крім питомих встановлених потужностей для різних приміщень приведені рекомендації щодо способів освітлення і типів самих освітлювальних приладів. Все це дозволяє здійснювати контроль енергозатрат в освітлювальних установках вже на стадії експертизи проектів.

Необхідно запровадити систему оцінки світильників за їх енергетичною ефективністю. Для цього потрібно ввести коефіцієнт енергетичної ефективності $K_{\text{еф.с.}}$, який визначається відношенням повного світлового потоку світильника до споживаної потужності. Цей показник враховує всі елементи системи: арматуру, джерело світла, ПРА.

Коефіцієнт енергетичної ефективності оцінюється за наступним співвідношенням:

$$K_{\text{еф.с.}} = \frac{\Phi_{\text{л}} * K_{\text{еф.б}} * \text{ККД}}{P_{\text{с}}},$$

де $\Phi_{\text{л}}$ – світловий потік ламп,
 $K_{\text{еф.б}}$ – коефіцієнт ефективності ПРА,
ККД – коефіцієнт корисної дії,
 $P_{\text{с}}$ – споживана потужність.
 $K_{\text{еф.с.}}$ на відміну від ККД враховує ефективність комплексу “лампа-ПРА” і має розмірність лм/Вт.

Коефіцієнт ефективності ПРА $K_{\text{еф.б}}$ знаходиться, як відношення світлового потоку контрольної люмінесцентної лампи з дослідним баластом до світлового потоку цієї ж лампи із взірцевим баластом.

ККД світильника вимірюється у фотометричній кулі згідно п.4.9.4 ГОСТ 17677.

Споживана потужність світильника вимірюється безпосередньо ватметром або методом ватметра-амперметра.

Тоді

$$P_{\text{с}} = U * I * \cos\phi,$$

де U – напруга мережі живлення,
 I – струм, що споживається від мережі,
 $\cos\phi$ – коефіцієнт потужності світильника.

Для класифікації по значеннях $K_{\text{еф.с.}}$ світильники випробовуються стандартними фотометричними процедурами в акредитованих лабораторіях.

II міжнародна науково-технічна конференція

Введення в рекомендації класифікацій світильників за їх $K_{\text{еф.с.}}$ дозволить відсікти найбільш неефективні світильники від широкого використання в ОУ.

Законодавче введення обмежень максимальних значень питомої потужності стимулює використання найбільш ефективних джерел світла, світлових приладів і методів освітлення. Це дозволить зекономити до 60 % електроенергії, що використовується на освітлення.

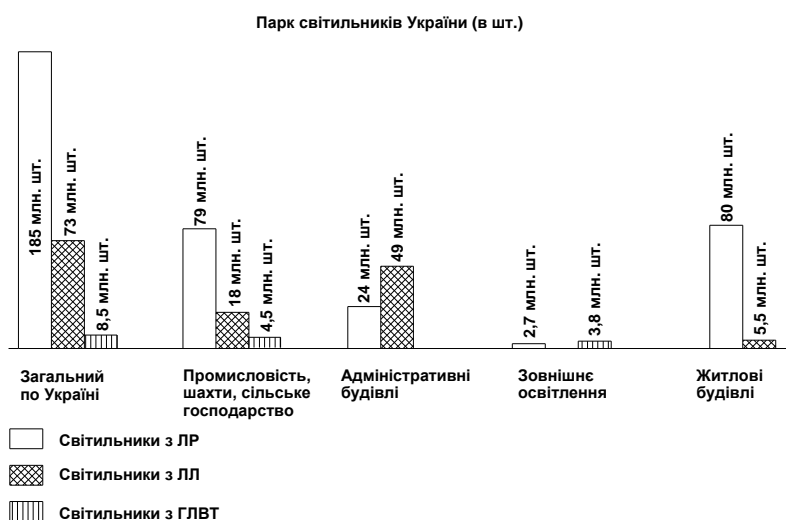


Рисунок 1

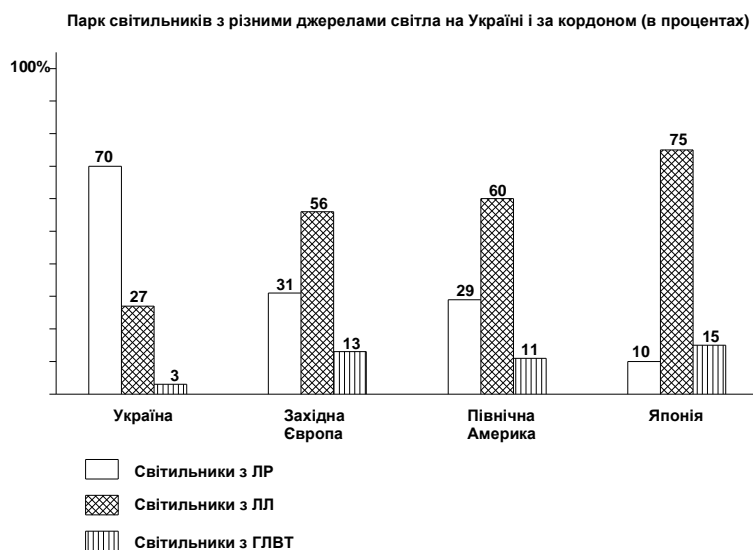


Рисунок 2

"СВІТЛОТЕХНІКА Й ЕЛЕКТРОТЕХНІКА: ІСТОРІЯ, ПРОБЛЕМИ Й ПЕРСПЕКТИВИ"



Рисунок 3



Рисунок 4

II міжнародна науково-технічна конференція

Економія електроенергії за рахунок переходу на більш ефективні джерела світла

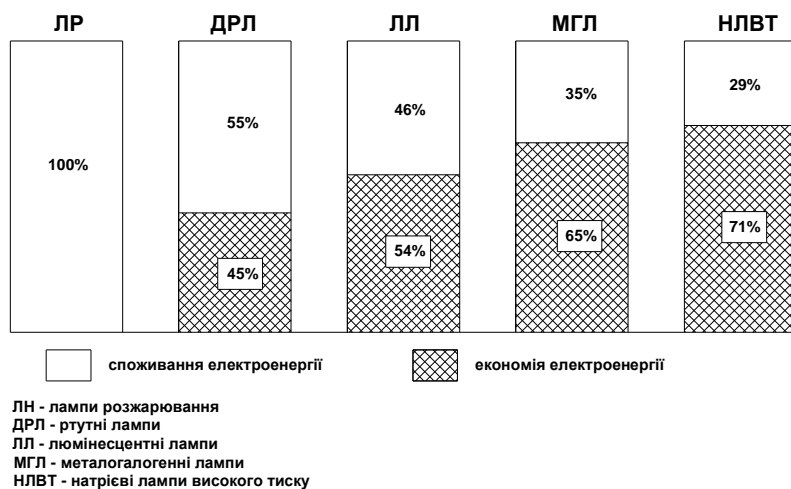


Рисунок 5

Економія електроенергії при використанні освітлювальних приладів з ефективними КСС

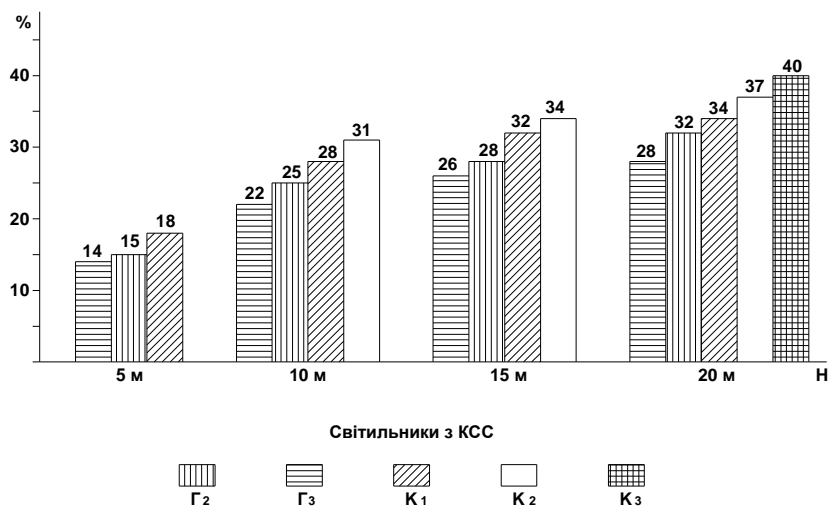


Рисунок 6