

излучения и приема ультразвуковых колебаний излучатель и измерительный приемник, которые образуют акустическую зону контроля положения кромки измеряемой по ширине ленты в воздушной среде.

Каждый излучатель в свою очередь представляет собой линейную группу излучателей, которые возбуждаются синфазно напряжением от многообмоточного трансформатора, что приводит к образованию равномерно распределенного по интенсивности и длине акустического луча, который перекрывается кромкой акустически непрозрачной ленты. Это дает возможность получить пропорциональную зависимость между акустическим давлением на приемнике и положением кромки ленты. Выведены основные математические зависимости, которые описывают рассмотренный теневой метод измерения при его реализации в воздухе, зависимости по выбору параметров акустической зоны измерения ПИПШ при реализации метода и приведены результаты экспериментальных исследований.

Ключевые слова: ультразвуковой теневой метод, измерение ширины упаковочной ленты, первичный измерительный преобразователь ширины.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Ришан О.Й. Аналіз та розробка методу вимірювання рівня речовин в повітрі на просторових ультразвукових биттях / О.Й. Ришан // Автоматизація виробничих процесів. – 2006. – № 1 (22). – С. 10–13.

2. Ришан О.Й. Дослідження основних параметрів ультразвукових інтерференційних рівнемірів на стоячій хви-

лі / О.Й. Ришан, Ю.М. Бородин // Науково-технічна інформація. – 2011. – № 4. – С. 54–56.

3. Основы гидроакустики / А.И. Тюрин и др. – Л. : Судостроение. – 1986. – 296 с.

4. Ультразвуковое устройство для измерения ширины ленты / А.И. Ришан, М.Н. Гуманюк // А.С. № 1000753, БИ № 8, 1983.

УДК 620.9.004.18

ДОСВІД ІНСТИТУТУ ПРОБЛЕМ МАТЕМАТИЧНИХ МАШИН І СИСТЕМ НАН УКРАЇНИ У ПРОЕКТУВАННІ ТА ВПРОВАДЖЕННІ СИСТЕМ СВІТЛОДІОДНОГО ОСВІТЛЕННЯ



Морозов Анатолій Олексійович,
директор, академік НАН України, докт. техн. наук, проф.
Інститут проблем математичних машин і систем НАН України,
пр-т Академіка Глушкова, 42, м. Київ,
Україна, 03680; morozov@immsp.kiev.ua

Клименко Віталій Петрович,
замісник директора, докт. фіз.-мат. наук, проф.
ІПММС НАН України, пр-т Академіка Глушкова, 42, м. Київ,
Україна, 03680; klimenko@immsp.kiev.ua

Ієвлєв Микола Георгійович,
учений секретар, канд. техн. наук, с.н.с.
ІПММС НАН України, пр-т Академіка Глушкова, 42, м. Київ,
Україна, 03680; ievlev@immsp.kiev.ua

Бутко Володимир Григорович, головний конструктор
ІПММС НАН України, пр-т Академіка Глушкова, 42, м. Київ,
Україна, 03680; volodya58@gmail.com

У статті розглянуті основні результати розробки і впровадження енергозберігаючих світлодіодних систем освітлення, одержані Інститутом проблем математичних машин і систем НАН України за останні сім років.

Ключові слова: енергозбереження, світлодіод, освітлювальні системи.

Вступ

Актуальність робіт зі створення і впровадження в народне господарство енергозберігаючих світлодіодних систем підтверджується тим, що одним із суттєвих напрямів енергозберігаючої політики України є економія електроенергії для освітлення. Із усієї електроенергії, що виробляється в Україні, на освітлення витрачається близько 30 %. Останніми роками досягнення в галузях фізики та оптоелектроніки сприяли створенню світлодіодних джерел світла, енергоефективність яких у 8–12 разів вища, ніж у ламп розжарення, та в 3–4 рази – ніж у люмінесцентних ламп.

Постановка проблеми. Згідно з прогнозами закордонних експертів уже найближчими роками світлодіодні джерела світла витіснять лампи розжарення, використання яких у деяких державах заборонене законодавством. У багатьох країнах світу масово випускаються світлодіодні джерела світла, здатні повністю замінити лампи розжарення та гідно конкурують із люмінесцентними лампами.

Упровадження в Україні світлодіодних джерел світла дозволить у 2–3 рази знизити витрати електроенергії на освітлення (до 10–15 % від усієї електроенергії, що виробляється в Україні). Прийнята у 2009 р. Державна цільова науково-технічна програма «Розробка і впровадження енергозберігаючих світлодіодних джерел світла та освітлювальних систем на їх основі» на 2009–2015 рр. передбачає розв'язання цієї проблеми.

Виклад основного матеріалу. Роботи зі створення і впровадження в народне господарство енергозберігаючих світлодіодних систем освітлення розпочалися в Інституті проблем математичних машин і систем НАН України в 2007 р. З тих пір співробітники ІПММС розробили та впровадили кілька як невеликих, так і досить масштабних проектів світлодіодного освітлення та декоративного підсвічування. Були розроблені зразки світлодіодних освітлювальних приладів, призначених для різних сфер вжитку. До переліку

входять світильники для потреб житлово-комунального господарства, побуту, декоративного садово-паркового та архітектурного підсвічування й багато інших. Повний перелік приладів наведений на сайті ІПММС (<http://www.immsp.kiev.ua/>) та у каталозі продукції інституту, що вийшов друком у 2012 р.

Один із перших проектів використання світлодіодних світильників, розроблених в ІПММС у 2010 р., був проект для освітлення приміщень лабораторного корпусу Інституту нейрохірургії ім. академіка А.П. Ромоданова НАМН України (рис. 1). Згідно з технічним завданням люмінесцентні світильники планувалось замінити на світлодіодні у ліфтовому холі, допоміжних приміщеннях і коридорі третього поверху лабораторного корпусу. В систему освітлення були додані датчики руху, які вмикали освітлення при появі людей у відповідних приміщеннях. Крім того, над аварійними виходами встановлено світильники з написом «ВИХІД», які автоматично вмикалися сутінковими реле з настанням темряви і вимикалися вранці.

Усі світильники були виконані з оксидованого алюмінієвого профілю у стилі High Tech. У кожному світильнику для коридору встановлено по 10 надяскравих світлодіодів без оптики, а в світильниках для допоміжних приміщень – по 5 таких світлодіодів. Кожен світильник має своє джерело живлення від мережі змінного струму напругою 220 В.

Встановлені світлодіодні світильники забезпечили освітленість на підлозі майже 70 лк, тобто більше ніж 50 лк, які передбачені за санітарними нормами для допоміжних приміщень. Споживана світлодіодною системою освітлення потужність утричі менша за потужність, яку споживали люмінесцентні лампи. Система працює безвідмовно майже п'ять років.

У 2009 р. комунальне підприємство «Київський метрополітен» оголосило конкурс на модернізацію систем освітлення салону вагонів метрополітену серій «Є» та «Єж»



Рис. 1. Загальний вигляд коридору третього поверху Інституту нейрохірургії

для Святошинсько-Броварської лінії. Треба відзначити, що ці серії вагонів найстаріші у Київському метрополітені. Для їх освітлення у свій час були розроблені спеціальні лампи розжарення з напругою живлення 65 В. У кожному вагоні встановлені 30 світильників із цими лампами, які розділені на два ланцюги по 15 з'єднаних послідовно світильників. Кожен ланцюг світильників живиться безпосередньо від мережі живлення вагону 950 В. Загальна споживана потужність системи освітлення вагону становить 1950 Вт.

Умови конкурсу передбачали заміну ламп розжарення світлодіодами з використанням тієї самої освітлювальної арматури. Живлення освітлювальної мережі повинно здійснюватися від акумуляторної батареї вагону напругою 80 В, а споживана всіма світильниками потужність не має перевищувати 400 Вт. При цьому освітленість на рівні колін сидячих пасажирів повинна бути не менше ніж 150 лк.

У конкурсі взяли участь три організації, зокрема й ІПММС. Треба відмітити, що крім ІПММС, ніхто з учасників не зміг задовольнити вимог конкурсу по споживаній потужності мережі освітлення вагону. Колективу розробників ІПММС вдалося вирішити задачу мінімізації споживаної потужності за рахунок використання над'яскравих світлодіодів фірми OSRAM у поєднанні зі спеціальною оптикою. У кожному світильнику на дисковому тепловідводі було встановлено по чотири світлодіоди, з'єднані паралельно (рис. 2).



Рис. 2. Внутрішній вигляд світильника для освітлення салону вагонів серій «Є» та «Єж»

Так номінальне падіння напруги на одному світильнику становило 3 В, а на ланцюгу з 15 світильників – відповідно 45 В. Це дало змогу використати для живлення кожного ланцюга світильників стандартний DC/DC перетворювач із входною напругою 70–140 В постійного струму і вихідною напругою 48 В, яку можна було змінювати у межах ± 5 В. Таке рішення дало можливість змінювати світловидатність світильників, регулюючи вихідну напругу джерел живлення. Крім того, стандартний матовий плафон великої густини був замінений плоским матовим склом, що дозволило майже на 20 % підвищити світловидатність кожного світильника.

Кожен з учасників конкурсу мав обладнати своїми світильниками один вагон, який брав участь у довготривалих випробуваннях в умовах дослідної експлуатації на лінії. Під час випробувань періодично проводились заміри освітленості у заданій площині та споживаної потужності.

Усі перераховані вище заходи дозволили колективу розробників ІПММС отримати освітленість на рівні колін сидячих пасажирів близько 180 лк, а потужність, споживану освітлювальною мережею вагону, – всього 157 Вт. У інших учасників конкурсу потужність, споживана освітлювальною мережею вагону, перевищувала 350 Вт, при меншій, ніж у ІПММС, освітленості (рис. 3).

У серпні 2011 р. КП «Київський метрополітен» оголосив тендер на закупівлю енергозберігаючих світлодіодних систем салонного освітлення вагонів метро серій 81-714, 81-717 та їх модифікацій для обладнання 50 вагонів згаданих вище серій, а в листопаді 2011 р. були опубліковані його результати, згідно з якими переможцем став Інститут проблем математичних машин і систем НАН України. Через деякий час був підписаний договір між КП «Київський метрополітен» та ІПММС. Цими системами в 2012 р. переобладнано 50 вагонів Куренівсько-Червоноармійської лінії Київського метрополітену, які безвідмовно

працюють більше трьох років. Детально ця робота описана в [1].

Розроблена в ІПММС система світлодіодного освітлення вагонів метро для серій 81-717, 81-714 порівняно зі стандартною системою освітлення на люмінесцентних лампах забезпечує економію електроенергії втричі, збільшення освітленості вагонів більш ніж у 1,5 рази, а також – зменшення витрат на обслуговування системи освітлення за рахунок значно більшої надійності і терміну експлуатації світлодіодних джерел світла. Відповідно до техніко-економічного обґрунтування, виконаного у депо «Оболонь», щорічна економія від упровадження світлодіодних світильників у вагонах метрополітену серій 81-717, 81-714 становить понад 250 тис. грн (рис. 4).

Наступним проектом, який ІПММС виконав у 2012 р., було декоративно-архітектурне підсвічування будівлі Міністерства освіти і науки України. Красива будівля, що нагадує кращі класичні зразки, виросла на місці непоказних околичних будиночків 1938 р. Класичний стиль потребував особливого підходу при підсвічуванні. Оскільки будівля пофарбована у два кольори – білі колони та жовті простінки, було прийнято рішення використати для підсвічування тільки два відтінки світлодіодів білого кольору. Світлові прилади, що підсвічують колони, використовують світлодіоди білого нейтрального світла, а для підсвічування простінок використані світлодіоди білого теплого світла. Таке рішення дозволило підкреслити архітектурні елементи будівлі, не порушуючи її цілісності та пластичності (рис. 5).

Для реалізації проекту колектив розробників використав 76 освітлювальних приладів, зокрема 36 лінійних і 40 точкових прожекторів. Аналіз наявних на ринку освітлювальних приладів цього класу показав, що вони не відповідають вимогам дизайн-проекту як за параметрами, так і за ціною та якістю. Було прийнято рішення розробити і виготовити потрібні освітлювальні прилади в умовах ін-



Рис. 3. Загальний вигляд вагону серії «Є», обладнаного світильниками розробки ІПММС



Рис. 4. Загальний вигляд модернізованого вагону серії 81-717

ституту. В короткий термін була розроблена робоча документація, виготовлені та випробувані дослідні зразки лінійних і точкових прожекторів. Випробування показали повну відповідність приладів заявленим параметрам (рис. 6, 7).

Корпус лінійного прожектора був виконаний із прямокутної алюмінієвої труби з перерізом 30x50 мм і пофарбований порошковою емаллю для захисту від корозії. Такий переріз дозволяє розмістити всередині корпусу джерело живлення та світлодіоди з потрібною оптикою. Герметизація корпусу досягається використанням стандартних пластикових заглушок, що на спеціальному герметику вставлені з обох кінців труби. За-

хисне скло приклеєне до лицьової поверхні труби двосторонньою липкою стрічкою фірми 3М. Таке конструктивне рішення дозволяє повністю запобігти проникненню вологи та пилу всередину корпусу. Крім того, еластичність липкої стрічки дозволяє компенсувати різні коефіцієнти лінійного розширення алюмінію та скла при зміні зовнішньої температури. Кабель живлення введений всередину корпусу через герметизуючу муфту. Одна жила кабелю призначена для заземлення прожектора.

Точкові прожектори виконано в стандартних корпусах моделі «Castro», зроблених з алюмінієвого литва. Задня кришка та загартоване скло товщиною 6 мм кріпляться до корпусу гвинтами через герметизуючі силі-



Рис. 5. Загальний вигляд будівлі МОН України при ввімкненому підсвічуванні

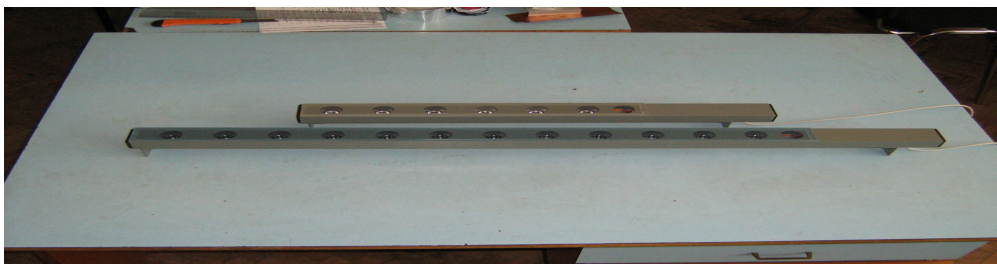


Рис. 6. Лінійні прожектори на 6 та 12 світлодіодів

конові прокладки. Кабель живлення введений всередину корпусу через герметизуючу муфту. Одна жила кабелю призначена для заземлення прожектора.

Усередині корпусу встановлений великий тепловідвід, на якому змонтовано світлодіоди з оптикою. Задня кришка захищає джерело живлення та клемники для під'єднання кабелю. Лінійні й точкові прожектори живляться від мережі змінного струму напругою 220 В.

Розроблена система світлодіодного декоративного підсвічування будівлі Міністерства освіти і науки України порівняно з традиційними системами підсвічування на галагенових лампах дозволяє істотно (в 12–15 разів) зменшити витрати електроенергії на підсвічування будівлі, забезпечити високу якість підсвічування та надійність системи, зменшити витрати на обслуговування електромереж, знизити рівень забруднення навколишнього природного середовища.



Рис. 7. Точковий прожектор з 12 світлодіодами

Наприкінці 2012 р. ІПММС реалізував проект системи світлодіодного освітлення внутрішнього двору Президії Національної академії наук України. У 2013 р. розроблено проект художнього освітлення фасаду будівлі Державної служби України з надзвичайних ситуацій (рис. 8).

У 2013–2014 рр. розроблено та впроваджено системи світлодіодного освітлення коридорів головного корпусу ІПММС. Так, наприклад, у коридорі п'ятого поверху раніше було встановлено 18 світильників під люмінесцентні лампи потужністю 40 Вт із загальним споживанням електроенергії всіма світильниками 720 Вт. Усі світильники були замінені на світлодіодні, в кожному з яких встановлено 20 світлодіодів потужністю 1 Вт із енергоефективністю 114 лм/Вт (рис. 9). Вся система управляється від контролера, що забезпечує три режими освітленості: максимальний (з освітленістю на рівні підлоги коридору 155 лк), робочий (з освітленістю на рівні підлоги 51 лк), черговий (з освітленістю на рівні підлоги 11 лк). Максимальний режим вмикається примусово (вручну), робочий режим – автоматично з 8 до 17 год. у робочі дні, а черговий режим – автоматично з 17 до 8 год. і у вихідні дні. У результаті випробувань системи світлодіодного освітлення були отримані наступні результати по споживаній потужності: максимальний режим – 373 Вт, робочий – 124 Вт, черговий – 23 Вт. Отже, споживання електроенергії при використанні робочого режиму знизилося майже в шість



Рис. 8. Проект художнього освітлення фасаду будівлі Державної служби України з надзвичайних ситуацій



Рис. 9. Загальний вигляд коридору п'ятого поверху Інституту проблем математичних машин і систем

разів, а при переході в режим чергового освітлення – більш ніж у 30 разів.

ІПММС НАНУ продовжує роботи зі створення енергозберігаючих світлодіодних систем освітлення для різних об'єктів народного господарства, а також розробляє: нові прилади для формування світлових потоків різної потужності з заданою діаграмою спрямованості; методи та мікроконтролерні пристрої керування потужністю, діаграмою спрямованості, кольором; вимикачі, що реагують на зовнішню освітленість, рух та інші фактори; системи живлення освітлювальних приладів. Розроблені в ІПММС світлодіодні пристрої для

освітлення вагонів рухомого складу залізниці, зокрема для освітлення вагонів метрополітену, світлодіодні системи освітлення приміщень, світлодіодні світильники різного призначення захищено патентами України [2–11].

Висновки

Висококваліфіковані фахівці інституту постійно працюють над удосконаленням схемотехніки та конструкції світлодіодних освітлювальних приладів. Розробки виконуються з використанням сучасних електронних компонентів і конструкційних матеріалів, що дозволяє досягти високого ступеня енергоекономічності та надійності наших виробів.

Співробітники інституту виконують проекти, використовуючи як ексклюзивні світильники власного виробництва, так і світильники відомих виробників, адаптовані для використання світлодіодів. Це гарантує високий ступінь надійності та тривалий, понад 50000 годин, термін служби приладів.

Інститут здійснює: розробку дизайн-проектів по всіх видах освітлення, від інтер'єрів – до архітектурних і ландшафтних; комп'ютерне моделювання освітлення різних об'єктів; вибір освітлювального і електротехнічного устаткування; розробку проектів внутрішніх і зовнішніх мереж освітлення; авторський супровід реалізованих проектів на всіх етапах; гарантійне, післягарантійне і сервісне обслуговування своїх проектів. На базі інституту виробляються розроблені дослідні зразки освітлювальних світлодіодних систем, а в подальшому – здійснюється їх серійне виробництво.

EXPERIENCE THE INSTITUTE OF MATHEMATICAL MACHINES AND SYSTEMS PROBLEMS OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF UKRAINE IN DESIGNING AND IMPLEMENTING LED LIGHTING SYSTEMS

Morozov A.O., *director, academician of NAS of Ukraine, Doctor of Technical Sciences, prof.*

Institute of Mathematical Machines and Systems Problems of NAS of Ukraine, 42, avenue Glushkov, Kyiv, Ukraine, 03680; morozov@immsp.kiev.ua

Klymenko V.P., *assistant director, Doctor of Physics and Mathematical Sciences, prof.*

IMMSP of NAS of Ukraine, 42, avenue Glushkov, Kyiv, Ukraine, 03680; klimenko@immsp.kiev.ua

Ievlev M.G., *academic secretary, PhD in Technical Sciences, senior research assistant*

IMMSP of NAS of Ukraine, 42, avenue Glushkov, Kyiv, Ukraine, 03680; ievlev@immsp.kiev.ua

The article describes the main results of the development and implementation of energy-efficient LED lighting systems produced by Institute of Mathematical Machines and Systems Problems NAS of Ukraine over the past 7 years.

Keywords: energy efficiency, LED lighting systems.

ОПЫТ ИНСТИТУТА ПРОБЛЕМ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МАШИН И СИСТЕМ НАН УКРАИНЫ В ПРОЕКТИРОВАНИИ И ВНЕДРЕНИИ СИСТЕМ СВЕТОДИОДНОГО ОСВЕЩЕНИЯ

Морозов Анатолий Алексеевич, директор, академик НАН Украины, докт. техн. наук, проф.

Институт проблем математических машин и систем НАН Украины, пр-т Академика Глушкова, 42, г. Киев, Украина, 03680; morozov@immisp.kiev.ua

Клименко Виталий Петрович, заместитель директора, докт. физ.-мат. наук, проф.

ИПММС НАН Украины, пр-т Академика Глушкова, 42, г. Киев, Украина, 03680; klimenko@immisp.kiev.ua

Иевлев Николай Георгиевич, ученый секретарь, канд. техн. наук, с.н.с.

ИПММС НАН Украины, пр-т Академика Глушкова, 42, г. Киев, Украина, 03680; ievlev@immisp.kiev.ua

Бутко Владимир Григорьевич, главный конструктор

ИПММС НАН Украины, пр-т Академика Глушкова, 42, г. Киев, Украина, 03680; volodya58@gmail.com

В статье рассмотрены основные результаты разработки и внедрения энергосберегающих светодиодных системы освещения, полученные Институтом проблем математических машин и систем НАН Украины за последние семь лет.

Ключевые слова: энергосбережение, светодиод, системы освещения.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Корбут В.Б. Энергозберігаючі світлодіодні системи освітлення вагонів метро / В.Б. Корбут, М.Г. Ієвлев, В.Г. Бутко // Науково-технічна інформація. – 2013. – № 4. – С. 44–50.

2. Патент України на корисну модель № 71804. Пристрій для освітлення вагонів рухомого складу / Морозов А.О., Клименко В.П., Корбут В.Б., Ієвлев М.Г., Бутко В.Г. // Бюл. № 14, 25.07.2012.

3. Патент України на корисну модель № 82193. Світлодіодна система освітлення приміщень / Морозов А.О., Клименко В.П., Корбут В.Б., Ієвлев М.Г., Бутко В.Г. // Бюл. № 14, 25.07.2013.

4. Патент України на винахід № 106806. Світлодіодна система освітлення приміщень / Морозов А.О., Клименко В.П., Корбут В.Б., Ієвлев М.Г., Бутко В.Г. // Бюл. № 19, 10.10.2014.

5. Патент України на корисну модель № 90085. Автомобільна лампа на основі надяскравого світлодіода / Морозов А.О., Клименко В.П., Корбут В.Б., Ієвлев М.Г., Бутко В.Г. // Бюл. № 9, 12.05.2014.

6. Патент України на корисну модель № 90086. Світильник світлодіодний / Морозов А.О., Клименко В.П., Корбут В.Б., Ієвлев М.Г., Бутко В.Г. // Бюл. № 9, 12.05.2014.

7. Патент України на корисну модель № 90085. Ліхтар аварійної зупинки / Морозов А.О., Клименко В.П., Корбут В.Б., Ієвлев М.Г., Бутко В.Г. // Бюл. № 9, 12.05.2014.

8. Патент України на корисну модель № 91104. Світлодіодна лампа для зовнішнього освітлення / Морозов А.О., Клименко В.П., Корбут В.Б., Ієвлев М.Г., Бутко В.Г. // Бюл. № 12, 25.06.2014.

9. Патент України на корисну модель № 91105. Світлодіодний прожектор / Морозов А.О., Клименко В.П., Корбут В.Б., Ієвлев М.Г., Бутко В.Г. // Бюл. № 12, 25.06.2014.

10. Патент України на корисну модель № 91106. Світильник аварійного (евакуаційного) освітлення / Морозов А.О., Клименко В.П., Корбут В.Б., Ієвлев М.Г., Бутко В.Г. // Бюл. № 12, 25.06.2014.

11. Патент України на винахід № 106578. Світильник аварійного (евакуаційного) освітлення / Морозов А.О., Клименко В.П., Корбут В.Б., Ієвлев М.Г., Бутко В.Г. // Бюл. № 17, 10.09.2014.