

**В.П. Клименко, В.Б. Корбут, М.Г. Ієвлєв, В.Г. Бутко,
С.Д. Лутов, О.В. Гедзь, С.Є. Мойсеєнко, Н.Г. Аронова, Є.О. Бондаренко,
В.О. Дмитренко, Є.А. Васюк, В.В. Жарінов**

Інститут проблем математичних машин і систем НАН України, Київ

ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧІ ЗАСОБИ АВТОМАТИЗАЦІЇ І СВІТЛОДІОДНІ СИСТЕМИ ОСВІТЛЕННЯ В ПРОМИСЛОВОСТІ, НА ТРАНСПОРТІ, В БУДІВНИЦТВІ ТА КОМУНАЛЬНІЙ СФЕРІ



Для систем автоматизації інженерного обладнання розроблено протокол уніфікації різнорідних технологічних даних з можливістю масштабування з мінімальним збільшенням об'ємів допоміжної інформації, що забезпечує його використання, починаючи від найпростіших мікроконтролерів і до інтеграції засобів автоматизації в глобальні системи. Описано основні технічні рішення, реалізовані при розробці світлодіодних систем салонного освітлення вагонів метро, в тому числі принципова схема світильника, основні технічні характеристики джерела живлення світильника, особливості розробленої конструкції світлодіодних модулів.

Ключові слова: енергозбереження, енергоефективність, автоматизація інженерного обладнання, світлодіод, освітлювальні системи.

Енергозбереження — пріоритетний напрямок державної політики України. Основи політики енергозбереження викладені в законі «Про енергозбереження» від 01.07.1994 № 74/94-ВР, Комплексній державній програмі «Енергозбереження в Україні на 2005—2020 рр.» та Державній цільовій науково-технічній програмі «Розробка і впровадження енергозберігаючих світлодіодних джерел світла та освітлювальних систем на їх основі».

Житлово-комунальне господарство міста Києва налічує понад 10 000 багатоповерхових будинків, а Київської області — понад 5000. Скорочення споживання енергоресурсів для потреб утримання житла, послуг тепло- та водопостачання й освітлення слід розглядати як

скорочення витрат енергоресурсів. Важливе значення має безаварійна робота обладнання. Його ресурс на багатьох об'єктах комунальної сфери має мінімальний запас міцності. Централізований аналіз контролю обладнання, облік моторесурсу та відповідно вчасно проведені профілактичні роботи дозволяють продовжити термін роботи багатьох вузлів інженерних систем у комунальній сфері, на транспорті, у промисловості.

Одним із суттєвих напрямів енергозберігаючої політики України є економія електроенергії, яка витрачається на освітлення. З усієї електроенергії на освітлення в Україні витрачається близько 30 %.

За останні роки досягнення в галузях фізики і оптоелектроніки сприяли створенню світлодіодних джерел світла з енергоефективністю, що в 8–12 разів перевищує енергоефективність ламп розжарювання та в 3–4 рази — енергоефективність газорозрядних ламп. Згід-

но з прогнозами закордонних експертів, вже в найближчі роки світлодіоди витіснять у значній мірі звичайні лампи, використання яких буде заборонено законодавством. Впровадження в Україні світлодіодних джерел світла дозволить значно зменшити витрати на освітлення (до 10–15 % від загальних витрат електроенергії) [1].

У рамках проекту «Розроблення і організація виробництва енергозберігаючих засобів автоматизації і світлодіодних систем освітлення в промисловості, на транспорті, в будівництві та комунальній сфері» Інститутом проблем математичних машин і систем (ІПММС) НАН України розроблено типові структури диспетчеризації систем автоматизованого управління складними об'єктами комунальної та промислової сфери, відпрацьовані програмні та апаратні засоби технології уніфікації інформаційних потоків від різноманітного обладнання. Створено уніфікований протокол відображення параметрів обладнання у віртуальному середовищі. При цьому різноманітні дані з обладнання різних виробників приводяться до одного формату, зводяться до єдиної для кожного об'єкта точки доступу. Така технологія пройшла випробування і працює на багатьох будівельних об'єктах міста Києва. Розроблено типові апаратні та програмні рішення для впровадження структур диспетчеризації систем автоматизованого управління складними об'єктами комунальної та промислової сфери, теплоенергетики та інших галузей промисловості. Спроектовано контролер, що містить вузли для передачі голосових повідомлень і телеметричної інформації через GSM- та телефонну мережі, засоби інтеграції з технологічними мережами, локальними комп'ютерними мережами та Інтернет.

У рамках проекту також розроблено ряд світлодіодних освітлювальних приладів для формування світлових потоків різної потужності з заданою діаграмою спрямованості та системи живлення до них. Опрацьовані методи керування потужністю, діаграмою спрямованості та кольором, розроблені схеми використання

приладів-вимикачів, що реагують на зовнішню освітленість та рух.

Під час виконання проекту були розроблені і введені в дію системи автоматизованого управління складними об'єктами комунальної та промислової сфери на АТ ХК «Київміськбуд», ПП «Пастпром», КП «Житлоінвестбуд-УКБ» та ДБК УС ВР України, система світлодіодного освітлення приміщень адміністративного корпусу Інституту нейрохірургії ім. акад. А.П. Ромоданова АМН України, 50 систем освітлення вагонів КП «Київський метрополітен» СП «Електродепо Оболонь», система декоративного підсвічування будівлі Міністерства освіти, науки, молоді та спорту України.

ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧІ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ ІНЖЕНЕРНОГО ОБЛАДНАННЯ БУДІВЕЛЬНИХ ОБ'ЄКТІВ КОМУНАЛЬНОЇ СФЕРИ

Широке використання систем автоматизації інженерного обладнання сприяє економії енергоносіїв, покращенню якості роботи та підвищенню надійності. Ще більшої ефективності можна досягти, об'єднуючи засоби автоматизації в мережеві структури.

Більшість виробників засобів автоматизації з підтримкою мережевого зв'язку використовують власні закриті протоколи, а інша частина виробників використовує протоколи, які стали де-факто стандартом.

У разі використання закритих протоколів спроба включити такі системи в загальну схему автоматизації, диспетчеризації та моніторингу тягне за собою необхідність придбання у фірми-виробника ліцензії на використання протоколу.

При використанні поширених протоколів, наприклад MODBUS, описуються загальні принципи формування даних. При цьому кожна фірма-виробник довільно розподіляє дані на логічному рівні, а загальноприйняті протоколи використовуються на транспортному рівні.

У наших попередніх розробках були використані аналогічні підходи. При запровадженні систем автоматизації в комунальній сфері такий

принцип виправданий і забезпечує виконання задач і вимог, вказаних в технічних завданнях. Із збільшенням кількості запроваджених систем автоматизації при вирішенні задач диспетчеризації та моніторингу наявність великої кількості різномірної інформації з багатьох об'єктів різко ускладнює інтеграцію та тягне за собою необхідність мати в системі верхнього рівня всю інформацію про представлення даних у кожній системі. Найпростіші компоненти системи, які отримують або генерують кілька байт інформації, є мережевими пристроями.

Вся система автоматизації, яка може приймати та видавати на порядки більші об'єми інформації по відношенню до зовнішнього світу, теж представляється як мережевий пристрій.

Виникає необхідність використання однакових інформаційних мережових структур на всіх ланках систем автоматизації. Такий підхід вимагає однозначного опису будь-яких даних, що існують в системі на будь-якому рівні масштабування. З метою уніфікації типу даних, що циркулюють між окремими елементами при побудові розподілених систем автоматизації, був розроблений універсальний мережевий протокол. Його характерною ознакою є формування таблиці можливих типів даних (табл. 1).

Таблиця даних доповнюється кожним програмістом-технологом в разі, якщо використовується тип даних, раніше не описаний. Якщо кількість типів даних перевищує 254 ($0 \times FE$), то в потоці даних ставиться код $0 \times FF$ і наступні два байта сприймаються як шістнадцятибітне число, яким можна передати 65 534 типи даних. Це відбувається тому, що при досягненні більшої кількості можливих типів даних у потоці ставиться код $0 \times FFFF$ і наступні чотири байти сприймаються як тридцятидвохбітне число, яким можна передати більше чотирьох мільярдів різних типів даних. Такий принцип збільшення розрядності може підтримуватися і при подальшій необхідності збільшення кількості типів даних, але на даному етапі розвитку не потрібний. Аналогічно представляється опис кількості елементів у посилці. Враховую-

чи, що на низинних рівнях у наших системах автоматизації з метою здешевлення використовуються найпростіші однокристальні мікроЕОМ з оперативною пам'яттю 128 байт, такий принцип дозволяє економити необхідний для підтримки протоколу об'єм оперативної пам'яті, але не обмежує можливостей нарощування об'ємів інформації на вищих ланках системи.

Зі збільшенням кількості типів даних в інформаційній посилці ефективність пропонованого методу однозначної ідентифікації інформації збільшується. Ще більший вигравш досягається за рахунок того, що при описі складних та персоналізованих до конкретного об'єкту типів даних їх внутрішня структура має аналогічну будову з посиланням на раніше описані в таблиці типи даних. Назвемо вищенаведений спосіб протоколом нормалізації технологічних даних

Таблиця 1

Формування таблиці можливих типів даних

Ідентифікатор типу даних	Розмір даних, байт	Опис фізичної суті
0×01	1	Вісім сухих контактів
0×02	2	Значення аналогового вимірювання
0×03	4	Значення аналогового вимірювання подвоєної точності
0×04	2	Температура із знаком, °C
0×05	4	Тиск, Па
0×06	4	Стан засувки з реохордом
0×07	2	Стан насоса
0×08	1	Стан магнітного пускача
0×09	12	ПІД-регулятор
$0 \times 0A$	80	Світлодіодна мнемосхема
$0 \times 0B$	1	Вісім дискретних значень для видачі
$0 \times 0C$	2	Аналогове значення на виходу
$0 \times 0D$	2	Аналогове значення на виходу у вольтах
$0 \times 0E$	2	Аналогове значення на виходу у форматі 4–20 мА
$0 \times 0F$	2	Моторесурс двигуна
0×10	4	Унікальний ідентифікатор об'єкта

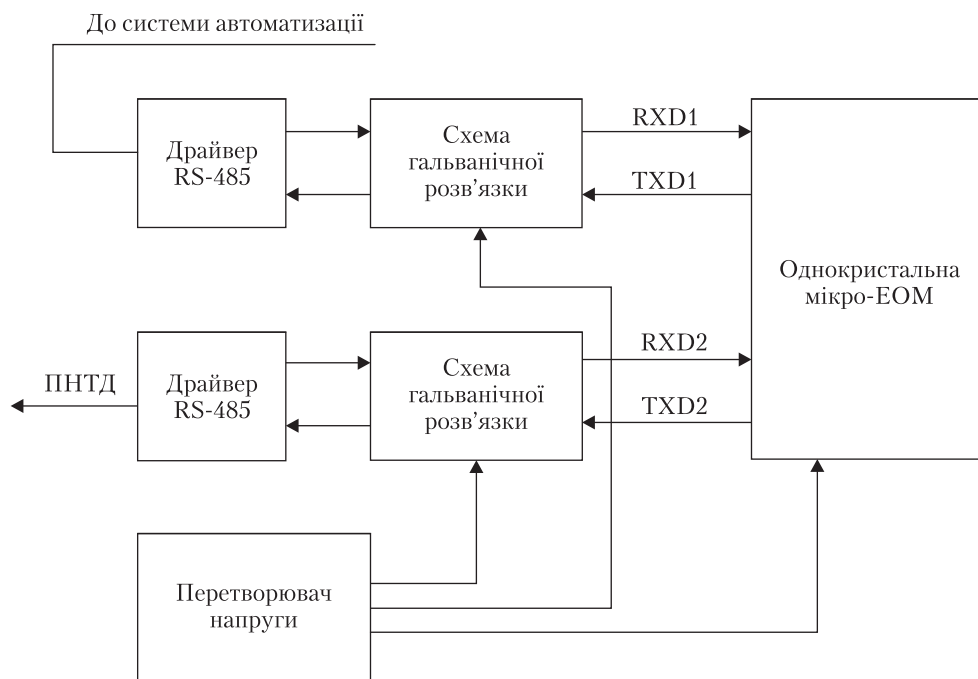


Рис. 1. Блок-схема МПП

(ПНТД). Використання даного протоколу дало можливість різко скоротити складність програмного забезпечення систем диспетчеризації та підвищити їх надійність. Створені алгоритми формування уніфікованих інформаційних пакетів та прийнятих даних у вигляді готових процедур можуть інтегруватись у вже існуючі системи. В разі, якщо такий шлях видається складним або неможливим, передбачено використання апаратного модуля перетворення протоколів (МПП). МПП створено на базі 32-розрядної високопродуктивної мікро-ЕОМ сімейства STM32. Модуль має два гальванорозв'язані інтерфейси RS-485. Таке рішення дозволяє його інтеграцію в працюючі системи, не порушуючи електричних параметрів. Блок-схема МПП наведена на рис. 1.

Конструктивно МПП кріпиться на стандартну DIN-рейку у вже працюючих засобах автоматизації або розміщується в окремому корпусі. Логічно МПП являє собою віртуальне середовище, в якому відображено поточний стан системи, що інтегрується в однорідний інформаційний простір на основі ПНТД. Маючи в

пам'яті поточну таблицю можливих типів даних та інформацію про представлення даних в системі, яку необхідно інтегрувати в систему диспетчеризації та моніторингу, здійснюється формування пакетів в обидві сторони.

Зовнішній вигляд пристрою в зборі наведено на рис. 2.

Реалізовано модифікації МПП для інтеграції систем автоматизації, в яких використовується MODBUS, та для роботи з нашими системами автоматизації попередніх розробок. У нових засобах автоматизації ПНТД підтримується як основний протокол взаємодії не тільки з зовнішнім світом, а і для внутрішніх потреб на рівні роботи центрального контролера з пристроями зв'язку з об'єктом, модулями індикації та візуалізації, пультами оператора.

ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧА СВІТЛОДІЮДНА СИСТЕМА САЛОННОГО ОСВІТЛЕННЯ ВАГОНІВ МЕТРО

На замовлення комунального підприємства «Київський метрополітен» в ІПММС НАН Ук-

раїни розроблено енергозберігаючу світлодіодну систему салонного освітлення вагонів метро моделей 81-717, 81-714, яка складається з світлодіодних модулів світильників та блоків живлення до них [2].

За технічним завданням освітлювальні світлодіодні модулі (ОСМ) повинні були замінити люмінесцентні лампи ЛБ-40 з напівпровідниковими перетворювачами живлення в світильниках салонного освітлення, причому споживання електроенергії всіма світильниками салону (10 штук) не повинно було перевищувати 300 Вт при напрузі живлення 80 В.

Для системи салонного освітлення вагонів метро була застосована структурна схема з індивідуальним живленням. Перевага такої структури полягає в тому, що окремі світильники встановлюються на місця світильників з традиційними джерелами світла, і освітлювальна мережа не потребує ніяких доробок.

Структура системи салонного освітлення вагонів метрополітену показана на рис. 3.

Особливість цієї структури полягає в тому, що перетворювач А3 має ручне регулювання струму через гілки світлодіодів А1 та А2. Це дозволяє в широких межах регулювати яскравість кожного з десяти світильників, забезпечуючи потрібну освітленість у заданій площині вагона. Усі світильники вагона об'єднані у дві групи (7 шт. основного освітлення та 3 шт. аварійного освітлення),

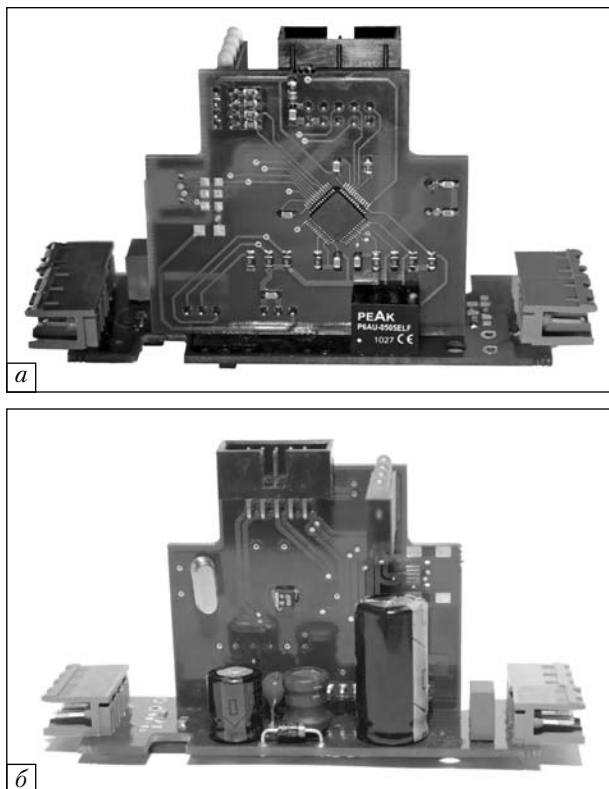


Рис. 2. Зовнішній вигляд пристрою в зборі

в межах яких вони включені паралельно. Усі світильники живляться від бортової мережі вагона напругою постійного струму +80 В.

Як зазначалося вище, технічне завдання на розробку системи освітлення вагонів метропо-

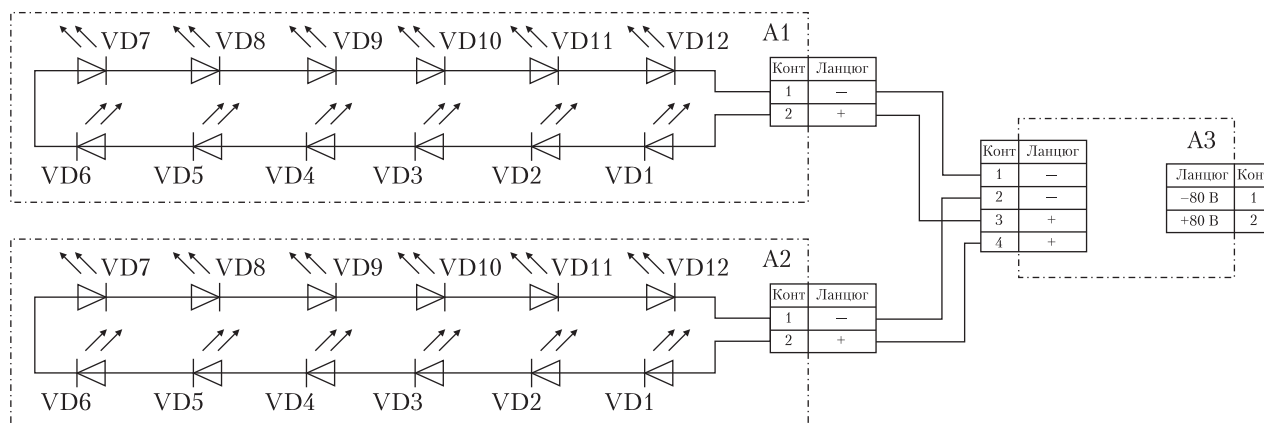


Рис. 3. Система салонного освітлення вагонів метрополітену: 1 – модуль світлодіодний лінійний; 2 – DC/DC-перетворювач в режимі «стабілізований струм»



Рис. 4. Джерело живлення на друкованій платі

літену серій 81-714, 81-717 обумовлює живлення світильників від бортової мережі вагона з напругою 80 ± 4 В. При цьому світильники повинні підключатися паралельно. Випробування макета світильника показали, що для заміни двох люмінесцентних ламп потужністю 40 Вт кожна достатньо 20–24 одноватних світлодіодів. При цьому сучасні світлодіоди серії Xlamp фірми Cree забезпечать сумарний світловий потік 2400–2500 лм при номінальному струмі через них 0,35 А[3]. При такому струмі пряме падіння напруги на одному діоді складе 3 В, а загальне падіння напруги на 24 сполучених послі-

Таблиця 2

Основні технічні характеристики джерела живлення для світильників салонного освітлення вагонів метрополітену серій 81-714, 81-717

ВИХІД	Максимальний вихідний струм, А	0,8
	Номінальний вихідний струм, А	0,7
	Діапазон регулювання струму навантаження, %	0-100
	Вихідна потужність, Вт	26
	Похибка підтримання струму навантаження, %	± 1
	Діапазон регулювання вихідної напруги, В	24–36
	Час встановлення вихідного струму, мс	300
ВХІД	Діапазон вхідної напруги постійного струму, в якому повністю забезпечуються вихідні параметри, В	Від 60 до 90
	Коефіцієнт корисної дії, типовий, %	90
	Струм, який споживається при повному навантаженні та напрузі живлення 80 В, типовий, А	0,3
	Мінімальна вхідна напруга, при якій заявлені параметри зберігаються на рівні 75 % від номінальних, В	50
ЗАХИСТ НА ВХОДІ	Від викидів напруги	Зберігає повну працездатність при викидах напруги до 1200 В на протязі 10 мс
ЗАХИСТ НА ВИХОДІ	Від перевантаження	110–135 % від максимального току, споживаного світильником
	Від короткого замикання на виході	Автоматичне повернення у робочий режим після усунення причини
УМОВИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ	Температура оточуючого середовища, °С	–20–+60
	Вологість, %	20–90
	Температура зберігання при вологості 10–95%, °С	–40–+85
	Вібрації	10–500 Гц, 2g, 10 хв/цикл
ЗАГАЛЬНІ	Розміри (довжина x ширина x висота), мм	95 × 60 × 28 (170 × 60 × 30 з проміжною платою)
	Вага, кг	0,25

довно світлодіодах — 72 В. Найпростішим варіантом було б живлення світлодіодів від лінійного стабілізатора струму, виконаного на інтегральному «Low drop» регульованому лінійному стабілізаторі напруги. Проте використання такого стабілізатора струму викликає великі втрати потужності за рахунок низького — порядку 30—50 % — коефіцієнта корисної дії останнього.

Перевагу в цьому випадку має застосування імпульсного перетворювача напруги з широтно-імпульсною модуляцією (ШІМ) регулювання. ККД такого перетворювача може досягати 80—90 %. На даний час провідні фірми-виробники електронних компонентів випускають велику номенклатуру мікросхем для побудови таких перетворювачів. Серед усіх цих мікросхем виділяється група спеціалізованих компонентів, призначених для побудови перетворювачів для живлення світлодіодів зі стабільним струмом на виході. Багато з цих мікросхем мають входи для управління яскравістю світлодіодів, зміною рівня постійної напруги на них або ШІМ-сигналом.

В ідеалі мікросхема для побудови джерела живлення світильників для вагонів метрополітену повинна мати такі характеристики:

- ✦ широкий (до 100—120 В) діапазон вхідної напруги;
- ✦ можливість установки будь-якої напруги в межах половини вхідної/вихідної напруги;
- ✦ можливість установки і підтримки номінального струму для світлодіодів різних типів і виробників;
- ✦ можливість управління яскравістю (DIMMING) світлодіодів — як аналоговим, так і ШІМ-сигналом;
- ✦ доступність при хорошому співвідношенні ціна/якість.

Перерахованим вище вимогам задовольняє лише одна з доступних на ринку України мікросхем — HV9910В фірми Supertex inc. Саме на цій мікросхемі побудовані джерела живлення для світильників салонного освітлення вагонів метро, основні технічні характеристики яких наведені в табл. 2.



Рис. 5. Друкована плата в корпусі

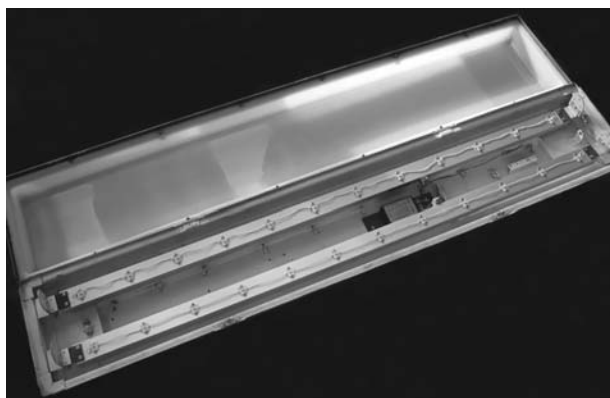


Рис. 6. Внутрішній вигляд світильника для салонного освітлення вагонів метрополітену

Джерело живлення змонтовано на друкованій платі (рис. 4), яка розміщена в корпусі (рис. 5).

Згідно з технічним завданням на дослідно-конструкторську роботу світлодіодні модулі конструктивно повинні бути виконані з використанням існуючих плафонів салонного освітлення вагонів метрополітену моделей 81-717, 81-714 з мінімальними переробками. Кріплення світлодіодного модуля повинно бути «нестандартним» (не пристосованим для використання в побуті), ремонтпридатним та таким, що важко зняти.

На рис. 6 наведено внутрішній вигляд світильника для салонного освітлення вагонів метрополітену серій 81-714, 81-717, розробленого у процесі виконання проекту. Як видно з ри-

сунка, з корпусу видалені люмінесцентні лампи, всі компоненти їх живлення і з'єднувальні дроти. Замість люмінесцентних ламп встановлено два тепловідводи, виконані з алюмінієвого профілю. На кожному тепловідводі встановлено по 12 потужних світлодіодів фірми Gree та елементи безгвинтового підключення — клемники фірми WAGO. Тепловідводи кріпляться до корпусу комбінованими кутниками, одне плече яких виконане з алюмінію, а друге — із склотекстоліту. Це потрібно для того, щоб гальванічно розв'язати тепловідводи із світлодіодами від «землі» вагона. На дні корпусу розміщене джерело живлення, яке працює в режимі «стабілізований струм». Конструкція розрахована так, що всі її елементи кріпляться у корпусі без будь-яких доробок останнього. При монтажі світлодіодного світильника немає потреби знімати корпус з місця його установки. Ці особливості розробленої нами конструкції дають можливість значно зменшити час заміни люмінесцентних ламп на світлодіодні модулі.

Світлодіодними системами, які розроблені та виготовлені в ППМС НАН України, переобладнано 50 вагонів Куренівсько-Червоноармійської лінії Київського метрополітену. За результатами експлуатації встановлено, що світлодіодні системи освітлення у порівнянні зі стандартними системами освітлення з люмінесцентними світильниками забезпечують економію електроенергії в 3,5 рази і збільшення освітленості більше ніж в 1,5 рази.

ЛІТЕРАТУРА

1. *Захаренко О.О., Чернишов В.Г., Коротинський О.Є., Свириденко А.О.* Освітимо Україну по-новому. Техніко-економічна ефективність впровадження світлодіодних світильників // Коллега. — 2010. — № 2. — С. 16–21.
2. *Патент* України на корисну модель № 71804. Пристрій для освітлення вагонів рухомого складу / Морозов А.О., Клименко В.П., Корбут В.Б., Ієвлєв М.Г., Бутко В.Г. // Бюл. №14, 25.07.2012.
3. *Мельниченко А.Ф.* Светодиоды Cree XLamp XB-D и XT-E — новый шаг на пути к светодиодному освеще-

нию // Электронные компоненты и системы. — 2012. — № 1(173). — С. 31–33.

*В.П. Клименко, В.Б. Корбут, Н.Г. Ієвлєв,
В.Г. Бутко, С.Д. Лутов, А.В. Гедзь,
С.Е. Моїсеєнко, Н.Г. Аронова, Е.А. Бондаренко,
В.А. Дмитренко, Е.А. Васюк, В.В. Жаринов*

ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ СРЕДСТВА АВТОМАТИЗАЦИИ И СВЕТОДИОДНЫЕ СИСТЕМЫ ОСВЕЩЕНИЯ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ, НА ТРАНСПОРТЕ, В СТРОИТЕЛЬСТВЕ И КОММУНАЛЬНОЙ СФЕРЕ

Для систем промышленной автоматизации разработан протокол унификации разнородных технологических данных с возможностью масштабирования с минимальным увеличением объемов вспомогательной информации, что обеспечивает его использование, начиная от простейших микроконтроллеров и до интеграции средств автоматизации в глобальные системы. Описаны основные технические решения, реализованные при разработке светодиодных систем салонного освещения вагонов метро, в том числе принципиальная схема светильника, основные технические характеристики источника питания светильника, особенности разработанной конструкции светодиодных модулей.

Ключевые слова: энергосбережение, энергоэффективность, автоматизация инженерного оборудования, светодиод, осветительные системы.

*V.P. Klivenko, V.B. Korbut, N.G. Iyevlyev,
V.G. Butko, S.D. Lutov, O.V. Gedz,
S.E. Moiseenko, N.G. Aronov, E.O. Bondarenko,
V.A. Dimitrenko, E.A. Vasyuk, V.V. Zharinov*

ENERGY-SAVING AUTOMATION AND LED LIGHTING SYSTEMS IN INDUSTRY, TRANSPORT, BUILDING AND MUNICIPAL SECTOR

Protocol of diverse technological data unification providing the ability to scale with a minimal increase in auxiliary information volume that allows its usage, ranging from the simplest microcontrollers to integration of automation equipment in global systems was designed for industrial automation systems. Basic technical solutions implemented in development of LED lighting systems of salon subway cars, including a schematic diagram of the lamp, the main technical characteristics of the lamp power supply, the peculiarities of developed design of LED modules are described.

Key words: energy saving, energy efficiency, automation of engineering equipment, LED, lighting systems.

Стаття надійшла до редакції 16.05.13