

П. П. Говоров¹
В. П. Говоров¹
А. К. Кіндінова¹

АВТОМАТИЗАЦІЯ КЕРУВАННЯ РЕЖИМАМИ СИСТЕМ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ТА ОСВІТЛЕННЯ МІСТ

¹Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова

Системи електропостачання та освітлення міст розглянуто як складні територіально розподілені людино-машинні системи, які входять до складу систем вищого рівня — електроенергетичних систем або їхніх підсистем. Вони мають з ними спільні елементи (живильні і розподільні мережі вищої та середньої напруги), а також спільні джерела живлення і засоби регулювання та управління. Це створює взаємний вплив і взаємозалежність та вимагає застосування методів і технічних засобів управління, адаптованих до параметрів і режимів міських електричних мереж і в основі своїй орієнтованих на структурно-параметричну інтеграцію в системи керування об'єктами енергетичних систем. Запропоновано структуру системи автоматичного керування, критерії та параметри керування режимами систем електропостачання та освітлення міст, що відрізняються розподіленням параметрів у просторі та процесів у часі, а також низьким рівнем кореляції графіків напруги та реактивної потужності, і базуються на застосуванні концепції Smart-Light. В її основу покладено розподілену багаторівневу систему керування з розосередженими активними елементами, що побудовані на застосуванні фазоперемикальних вольтододавальних трансформаторів. Тим самим забезпечується можливість непов'язаного керування режимами напруги, активної та реактивної потужностей. Викладене відкриває можливість для керування режимами напруги в будь-якій точці мережі без впливу на режими інших споживачів. Концептуально система керування режимами електричних мереж систем електропостачання та освітлення міст дозволяє враховувати їхні особливості, пов'язані з кольоро-во-світловим впливом освітлення на тваринний і рослинний світ, а також суміжні системи вищого рівня — електроенергетичні системи та мережі. Все це дозволяє розглядати системи електропостачання та освітлення міст як складні біотехнічні системи і керувати ними з урахуванням, як економічного критерію, так і критеріїв соціальної та екологічної ефективності.

Ключові слова: Smart-Light, система автоматичного керування, багаторівнева система, фазоперемикальний вольтододавальний трансформатор, освітлювальні системи.

Вступ

Сучасні системи освітлення міст є складними територіально розподіленими системами, які також входять до складу систем вищого рівня — електроенергетичних систем або їхнього різного рівня підсистем. Вони мають з ними спільні елементи (живильні і розподільні мережі вищої і середньої напруги), а також джерела живлення і засоби регулювання і управління. Це створює їхній взаємний вплив і взаємозалежність та викликає необхідність застосування в системах електропостачання та освітлення міст методів і технічних засобів управління, адаптованих до параметрів і режимів міських електричних мереж, і в основі своїй орієнтованих на структурно-параметричну інтеграцію в системи керування електричними мережами енергосистем. У своїй основі управління режимами міських електричних мереж, наразі застосовуються переважно методи і технічні засоби, що засновані на дискретному, в основному ручному управлінні. Однак, все частіше на сьогодні застосовують людино-машинні автоматизовані системи, які для керування враховують, крім технічних параметрів мереж, параметри людського організму і навколишнього середовища.

Метою роботи є розробка наукових основ автоматизованого керування режимами систем електропостачання та освітлення міст, що враховують критерії соціально-економічної ефективності.

Результати досліджень

Як основу побудови систем електропостачання та освітлення міст можна розглядати багаторівневі ієрархічні розподілені структури, ефективність яких підтверджена практикою. У таких структурах, функції вищої координації та організаційного управління, в цілому, виконує верхній рівень

ієрархії. У системах електропостачання та освітлення міст це оперативний інформаційно-керувальний комплекс, який входить до складу автоматизованої системи керування енергетичного об'єднання [1].

Аналіз функціональних завдань систем електропостачання міст вказує на можливість інтеграції в такі системи систем освітлення міст. Однак, як свідчать результати аналізу, просте перенесення ідеології побудови засобів керування на вищих рівнях тут не може бути застосоване з оперативних, технологічних і соціально-екологічних особливостей систем освітлення міст. Основні проблеми керування режимами систем освітлення міст можуть бути зведені до таких:

- наявність великої кількості об'єктів з мінімальними затримками (режим циркулярного управління), що зумовлює збільшення вартості системи;
- наявність різноманітних за обсягом, інтенсивності і пріоритетам потоків інформації.

Проведені дослідження показали, що в умовах міст найриятнішим середовищем для систем верхніх рівнів (мереж 110 кВ і вище) є телефонні лінії GSM і УКВ-канали, а для нижніх — силові лінії і GSM канали. Це багато в чому обумовлює ієрархічну структуру систем керування системами електропостачання та освітлення міст, яка певною мірою повторює структуру міських мереж. При цьому радіально-вузлова структура систем керування використовується як типова для технологій, що використовують як середовище для передачі інформації, телефонні лінії. Пункти живлення в цьому випадку розташовуються у вузлах освітлювальних навантажень, на ТП, РП або ВРУ споживачів. А характеристика мережі багато в чому визначається здатністю інформаційних засобів диспетчерських пунктів управляти потоками інформації,

Деревоподібна структура систем керування електричними мережами (ЕМ) є типовою для систем управління, які використовують радіосередовище. Для передачі інформації тут зазвичай використовуються високошвидкісні канали (переважно радіорелейні). Основні пункти керування в цьому випадку можуть виконувати роль ретрансляторів або накопичувачів інформації. Проміжні пункти в цих умовах можуть виконувати роль концентраторів даних. Розташування основних і проміжних пунктів, а також виділення незалежних частин систем керування визначаються топологією розподільних систем і організації каналів систем управління.

Змішана конфігурація системи керування мережами характерна для систем управління, які поєднують в собі УКХ-середовище, середовище телефонних ліній зв'язку та силових ліній розподільних мереж (РМ) 0,4...10 кВ. При цьому кожний пункт мережі може бути або комутатором, або концентратором даних. Невід'ємною умовою роботи таких мереж є наявність високоефективного

алгоритму, необхідного для швидкісної комутації та розподілу сигналів [2], [3].

Наявність обмежень у кількості каналів і смуг частот їхнього пропускання зумовлює необхідність органічного поєднання каналів, організованих у всіх трьох середовищах, і створює доцільність застосування змішаної структури систем управління (рис. 1). У цих умовах основною проблемою, яка виникає під час управління системами електропостачання та освітлення міст, є зменшення обсягу інформації, що передається. Одним зі шляхів її вирішення є зниження надмірності інформації, що може бути здійснено завдяки підвищенню інтелектуальності локальних систем керування за рахунок надання їм частини керувальних функцій, і зниження інформаційного зв'язку з вищими і суміжними системами.

Для побудови таких систем необхідно виконати три основні завдання:

- вибрати раціональну систему управління, яка забезпечить виконання необхідних функцій із заданими якісними показниками;

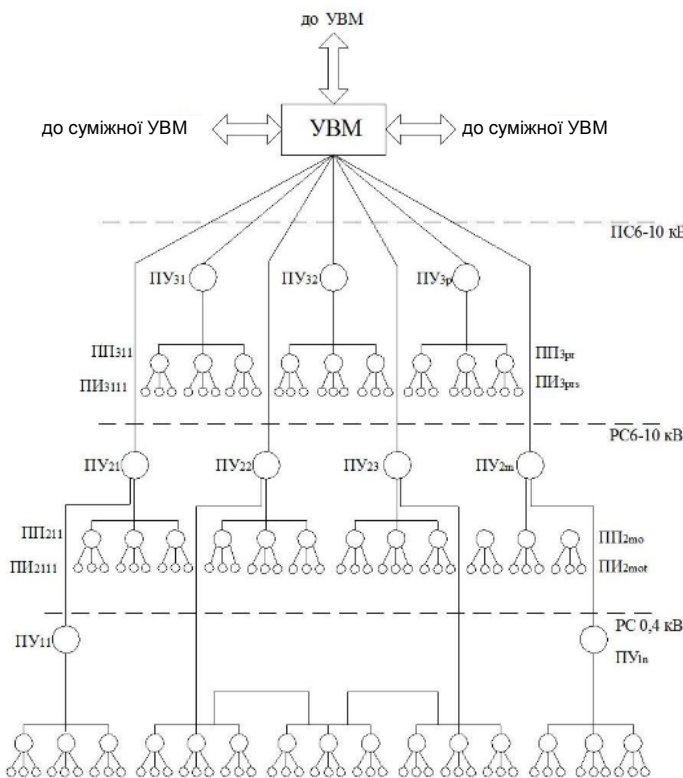


Рис. 1. Топологія системи керування

- вибрати структуру системи управління, яка забезпечить оптимізацію, потрібну кількість зв'язків і число пунктів управління;
- розробити алгоритм функціонування системи управління, який забезпечить досягнення заданих характеристик.

В основу розробленої концепції побудови системи керування режимами систем освітлення міст покладена ієрархічна багаторівнева агрегатована структура. На нижніх рівнях система керування представлена великою кількістю локальних систем, для яких характерна відносна самостійність функціонування та пристосовування, для застосування в вузлах навантажень мереж. Для них найефективнішою є стабілізація параметрів технологічного процесу. Структура таких систем керування має розподілений характер рис. 2. Її активні елементи, які здійснюють корекцію параметрів режиму, максимально наближені до об'єктів управління. В ідеальному випадку активні елементи встановлюються безпосередньо у вузлах навантажень мереж.

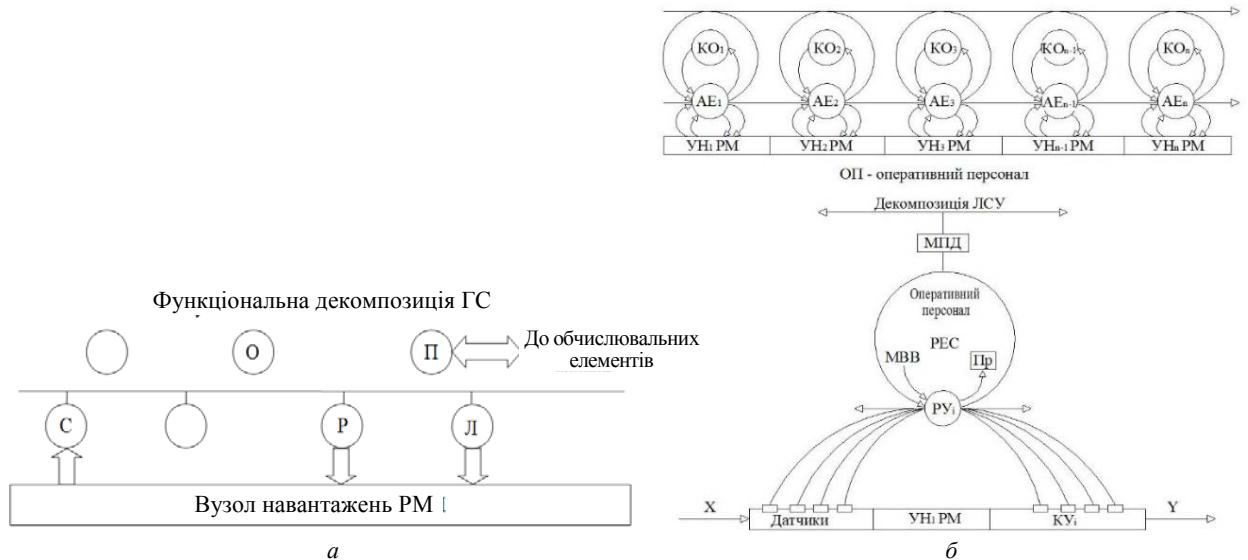


Рис. 2. Декомпозиція ГМ: *а* — структурна; *б* — функціональна; З — збір і обробка інформації; Р — регулювання; Л — логічне управління; Про — ручне введення і відображення інформації; П — передача інформації Пр — процесор; МВВ — модуль вводу-виводу; КО — контролер об'єкта; МПД — мультіплекс передачі даних

Побудову системи керування виконано з припущенням, що основною її метою є реалізація завдання «керування», яка визначає належність системи керування до системи S , представленою парою X, Y , коли Y є розв'язком задачі оптимізації, що здійснюється за допомогою рішення для конкретного співвідношення параметрів управління. У цьому сенсі розв'язок представляється безліччю X і Y

$$S \subseteq X \times Y. \quad (1)$$

З огляду на цілеспрямований функціональний характер дії системи, можна говорити про систему керування мережами, як відображення рівняння

$$S: X \rightarrow Y, \quad (2)$$

де X і Y — відбита величезна кількість входів $x \in X$ і виходів $y \in Y$.

У цій системі керування виділено низку послідовних рівнів прийняття рішень, на кожному з яких відбувається обробка інформації, що надходить з елементів нижнього рівня. Їхньою метою є створення координуючих дій на елементи цього рівня. Точка виділення рівнів прийняття рішень виконана відповідно до вертикальної декомпозиції системи управління. На підставі результатів моделювання режимів в системах електропостачання та освітлення міст виділені такі рівні керування: пункт керування освітленням, ТП, РП, ПС 35—110 кВ і системи електропостачання та освітлення міст в цілому. Для кожного з них характерні своя тривалість, критерії та параметри керування. Виділенню функціональних завдань, вирішення яких не пов'язане з іншими завданнями цього рівня, відповідає горизонтальна декомпозиція системи управління. Горизонтальна декомпозиція нижніх рівнів системи керування відповідає виділенню локальних систем керування, керування якими може вестися в автономному режимі. Число локальних систем керування визна-

часться структурою мереж, технічним наповненням і територіальним розташуванням її елементів. Функціонування локальних систем визначається алгоритмом управління, який характеризує послідовність операцій і перетворення вхідного сигналу в вихідний. При цьому, встановлені операції перетворення інформації можна розглядати як алгоритмічні функції, що є своєрідними модулями, з яких можна скласти алгоритм управління. Насамперед це відноситься до таких типових елементів, які виконують певні алгоритмічні функції. Ознаками типізації системи керування і її елементів можуть служити їхня орієнтація, інформаційна потужність, цільова спрямованість тощо. В роботі для типізації системи керування та її елементів прийнята об'єктивно орієнтована ознака, яка забезпечує можливість статичного аналізу та прогнозування розвитку системи керування РМ. У цих умовах поняття типова система керування зводиться до типової функціональної структури системи управління, яка може бути представлена виразом [4]

$$F: X \times f \rightarrow Y, \quad (3)$$

де F — безліч алгоритмічних функцій.

Розглянуті загальні закономірності функціонування систем керування визначають основні вимоги до алгоритмів функціонування локальних систем керування. Подальша деталізація алгоритму функціонування системи керування може бути виконана за допомогою їхньої контурної декомпозиції, яка базується на наявності в локальній системі керування декількох вузлів зі збору та оброблення інформації, певним чином пов'язаних активними елементами. При цьому прийняття рішення в розробленій системі керування базується на багатоплановому принципі, згідно з яким складна проблема керування розбивається на сімейство послідовно пов'язаних предметних проблем. В процесі прийняття рішення кожний попередній шар складає основу для прийняття рішення в наступному шарі. Рішення проблеми в цілому є послідовним рішенням складових її проблем. Їм відповідає часовий розподіл операцій з керування параметрами режиму мереж. При цьому, вузли інформації здійснюють циклічний обмін інформацією між вузлами навантажень і активними елементами. У кожному циклі використовують додаткову інформацію, яка виходить за триваліші проміжки часу. До таких відносяться сигнали від активних елементів, різного роду статистичні дані тощо.

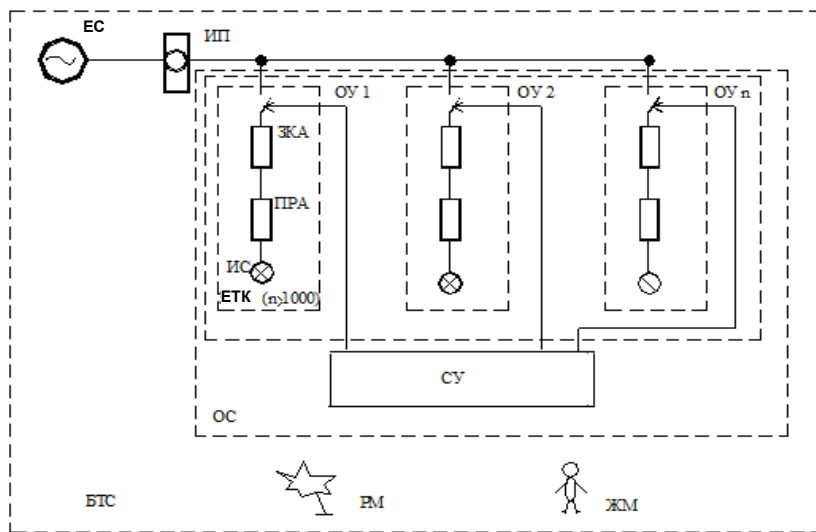


Рис. 3. Біотехнічна система освітлення. ЕС — електрична мережа, ИП — джерело живлення, ЗКА — захисно-комутаційна апаратура, ПРА — пуско-регулювальна апаратура, ИС — джерела світла, ОУ — освітлювальні установки, ЕТК — електротехнічний комплекс, СУ — система керування. ОС — система освітлення, РМ — рослинний світ, ЖМ — тваринний світ, БТС — біотехнічна система

Аналіз типових структур системи керування з використанням її контурної декомпозиції дозволяє виявити підмножину алгоритмічних функцій, використання яких забезпечує виконання завдань керування технологічними процесами передачі й перетворення електроенергії в системах електропостачання та освітлення міст. Це:

– регулювання: збір, оброблення даних, формування і видача керувальних команд з метою стабілізації окремих параметрів технологічного процесу або їхні зміни за заданим законом, з урахуванням соціально-економічних наслідків;

- передавання інформації: підготовка даних і реалізація протоколів обміну з суміжними і вищими підсистемами, разом з освітлювальними системами;
- логічне керування: керування дискретними і безперервними виконавчими органами за заданою або тою, що перебудовується, програмами, в залежності від стану технологічного процесу;
- відображення технологічної інформації: індикація, реєстрація даних, введення інструкцій, команд і даних [5].

Висновки

На основі врахування світлокольорової дії освітлення на людину і врахування її дії в системі керування режимами РМ міст відкривається можливість представлення систем електропостачання та освітлення міст як гнучких інтелектуальних систем, що враховують окрім економічних ще й соціально-екологічні наслідки роботи РМ. В цілому, запропонована концепція керування режимами освітлювальних систем дозволяє врахувати їхні особливості, пов'язані з урахуванням кольоро-во-світлового впливу освітлення на тваринний і рослинний світ, а також суміжні системи вищого рівня — електроенергетичні системи та мережі. Наявність зазначених особливостей робить необхідним виділення систем електропостачання та освітлення міст в самостійну Smart-Light систему, що об'єднує Smart-Grid систему і систему життєзабезпечення міста в цілому. Структура такої системи (див. рис. 3) включає енергетичну систему та систему електропостачання як сукупність освітлювальних установок із системою керування, побудовану на основі концепції Smart-Grid, а також систему електричного освітлення, як складову частину системи життєзабезпечення міста.

Застосування розглянутих основних положень дозволяє повернутися до головної мети створення технічних систем — задоволення попиту людства на комфортне середовище проживання як засобу життєзабезпечення в середовищі існування людини.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [1] П. П. Говоров, О. В. Король, Н. І. Носан, і Т. І. Романова, «Система динамічного освітлення на основі світлодіодного світла», *SvitloLux*, № 6, с. 46-50, 2011.
- [2] В. В. Назаров, «Концепція Smart Grid та реальної енергії», *Енергія та електрифікація*, № 6, с. 12-15, 2013.
- [3] В. Н. Винославський, В. І. Тарадай, В. Буц, і Д. Хайнце, *Автоматизація проектування систем електропостачання*. Київ: Вища школа, 1982, 208 с.
- [4] А. К. Шидловський, і В. Г. Кузнецов, *Підвищення якості енергії в електричних мережах*. Київ: Наукова Думка, 1985, 268 с.
- [5] Ф. П. Говоров, «До питання оптимізації регулювання напруги в міських електричних мережах», *Промислова енергетика*, с. 21-25, 1997.

Рекомендована кафедрою електричних станцій та систем ВНТУ

Стаття надійшла до редакції 25.10.2021

Говоров Пилип Парамонович — д-р техн. наук, професор, професор кафедри світлотехніки і джерел світла, e-mail: philip.govorov@gmail.com ;

Говоров Владлен Пилипович — канд. техн. наук, доцент, науковий співробітник університету;

Кіндінова Анастасія Костянтинівна — інженер кафедри світлотехніки і джерел світла.

Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова, Харків

P. P. Hovorov¹
V. P. Hovorov¹
A. K. Kindinova¹

Automation of Control of Modes of Power Supply and Lighting Systems of Cities

¹O. M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv

In the work under consideration, the power supply and lighting systems of cities are considered as complex geographically distributed man-machine systems, which, in turn, are part of higher-level systems - electric power systems or their subsystems. They have common elements with them (supply and distribution networks of high and medium voltage), as well

as common power supplies and means of regulation and control. This makes them mutually influencing and interrelated and requires the use of methods and technical means of control, adapted to the parameters and modes of urban energy networks and, basically, focused on structural and parametric integration and control systems for objects of energy systems. The structure of an automatic control system, criteria and parameters for controlling the modes of power supply and lighting systems in cities, differing in the distribution of parameters in space, processes in time, as well as a low level of correlation of voltage and reactive power graphs, are proposed, and are based on the application of the Smart-Light concept. It is based on a distributed multi-level control system with dispersed active elements based on the use of phase-shifting booster transformers. This ensures the possibility of unrelated control of voltage modes, active and reactive power. The foregoing opens up the possibility of controlling the voltage modes at any point in the network without affecting the modes of other consumers. The conceptual system for controlling the modes of electrical networks of power supply and lighting systems in cities allows us to take into account their features associated with the color-light effect of lighting on the flora and fauna, as well as adjacent systems of a higher level — electrical power systems and networks. The above allows us to consider the power supply and lighting systems of cities as complex biotechnical systems and manage them taking into account, in addition to the economic criterion, also the criteria of social and environmental efficiency.

Keywords: Smart-Light, automatic control system, multilevel system, phase-switched booster transformer, lighting systems.

Hovorov Pylyp P. — Dr. Sc. (Eng.), Professor, Professor of the Chair of Lighting Engineering and Light Sources, e-mail: philip.govorov@gmail.com ;

Hovorov Vladlen P. — Cand. Sc. (Eng.), Associate Professor, Researcher of the University;

Kindinova Anastasiia K. — Engineer of the Chair of Lighting Engineering and Light Sources

Ф. П. Говоров¹
В. Ф. Говоров¹
А. К. Киндинова¹

Автоматизация управления режимами систем электроснабжения и освещения городов

¹Харьковский национальный университет городского хозяйства имени А. Н. Бекетова

Системы электроснабжения и освещения городов рассмотрены как сложные территориально распределенные человеко-машинные системы, которые входят в состав систем более высокого уровня — электроэнергетических систем или их подсистем. Они имеют с ними общие элементы (питающие и распределенные сети высшего и среднего напряжения), а также общие источники питания и средства регулирования и управления. Это делает их взаимовлияющими и взаимосвязанными и требует применения методов и технических средств управления, адаптированных к параметрам и режимам городских электрических сетей и в основе своей ориентированных на структурно-параметрическую интеграцию и системы управления объектами энергетических систем. Предложена структура системы автоматического управления, критерии и параметры управления режимами систем электроснабжения и освещения городов, отличающиеся распределением параметров в пространстве, процессов во времени, а также низким уровнем корреляции графиков напряжения и реактивной мощности, и базирующиеся на применении концепции Smart-Light. В ее основу положена распределенная многоуровневая система управления с рассредоточенными активными элементами, построенными на применении фазо-переключаемых вольтодобавочных трансформаторов. Тем самым обеспечивается возможность несвязанного управления режимами напряжений, активной и реактивной мощностей. Изложенное открывает возможность управления режимами напряжения в любой точке сети без влияния на режимы других потребителей. Концептуальная система управления режимами электрических сетей систем электроснабжения и освещения городов позволяет учитывать их особенности, связанные с цвето-световым влиянием освещения на животный и растительный мир, а также смежные системы более высокого уровня — электроэнергетические системы и сети. Указанное выше позволяет рассматривать системы электроснабжения и освещения городов в качестве сложных биотехнических систем и управлять ими с учетом как экономического критерия, так и критериев социальной и экологической эффективности.

Ключевые слова: Smart-Light система автоматического управления, многоуровневая система, фазопереключаемый вольтодобавочный трансформатор, осветительные системы.

Говоров Филипп Парамонович — д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры светотехники и источников света, e-mail: philip.govorov@gmail.com ;

Говоров Владлен Филиппович — канд. техн. наук, доцент, научный сотрудник университета;

Киндинова Анастасия Константиновна — инженер кафедры светотехники и источников света