

УДК 628.931

## КОНЦЕПЦИЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ КОМПЛЕКСОВ НАРУЖНОГО ОСВЕЩЕНИЯ

**Казаринов Л.С., Вставская Е.В., Барбасова Т.А.**

*Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет), Челябинск, e-mail: admin@susu.ac.ru*

Актуальной проблемой развития электроэнергетических систем в РФ является модернизация систем освещения. Наиболее энергоэффективным решением является внедрение светодиодных источников света. Решение данной проблемы тормозится высокой стоимостью светодиодных источников, аппаратуры автоматизированных систем, отсутствием методологии и технических решений построения гибких адаптивных систем автоматизированного управления сложными гибридными комплексами наружного освещения. Поэтому в настоящее время модернизация систем освещения на базе светодиодных источников света не находит широкого применения и носит демонстрационный характер. К решению данной проблемы необходим системный подход, заключающийся в совместной проработке технических и экономических вопросов внедрения новых высокоэффективных источников света, гибкого индивидуального управления источниками света в гибридных комплексах освещения. Целью исследования является разработка методологии построения нового класса автоматизированных систем управления, обеспечивающих повышение эксплуатационной эффективности сложных комплексов наружного освещения, основанной на применении новой технологии передачи данных по силовым цепям, снижающей стоимость построения системы, применении гибкого функционального резервирования, повышающего функциональную надежность системы, а также основанного на предложенных технических решениях инновационного механизма модернизации систем наружного освещения. В работе предложен новый метод передачи информации по силовым цепям на основе использования широтной модуляции питающего напряжения, обеспечивающий построение автоматизированных систем гибкого адаптивного управления гибридными комплексами наружного освещения повышенной эксплуатационной эффективности.

**Ключевые слова:** комплексы наружного освещения, системы управления, источники света

## THE CONCEPT OF INCREASING ENERGY EFFICIENCY LIGHTING OUTDOOR SYSTEMS

**Kazarinov L.S., Vstavskaya E.V., Barbasova T.A.**

*South Ural state university (National research university), Chelyabinsk, e-mail: admin@susu.ac.ru*

The modernization of the outdoor lighting systems is an urgent problem for the development of the electricity systems in Russia. The most energy-efficient solution is the introduction of the LED sources. The solution of this problem is hampered the high prices for LED sources, control systems equipment and the low financing. The absence of special methodology and technical solutions in the design of flexible adaptive systems of control the hybrid outdoor lighting systems has the same influence. That is why the upgrading of the light systems based on LED sources is not widely spread and has only an illustrative application. The system approach is the only way to solve the problem. It consists in the joint development of technical and economic issues of introduction of new high-efficiency light sources and in a flexible control of the individual light sources in hybrid systems of light. The purpose of this research is to develop a methods permitting the development a new class of industrial control systems, providing improved maintainability of complex outdoor lighting systems based on using of new data transmitting technology for power lines, which reduces the cost of the system's design, application of a flexible functional redundancy increasing the functional reliability of the system and application of the innovative mechanism of modernization of the street lighting based on the proposed technical solutions.

**Keywords:** outdoor lighting systems, control systems, lighting source

Актуальной проблемой развития электроэнергетических систем в РФ является модернизация систем освещения. Наиболее энергоэффективным решением является внедрение светодиодных источников света. Решение данной проблемы тормозится высокой стоимостью светодиодных источников, аппаратуры автоматизированных систем, отсутствием методологии и технических решений построения гибких адаптивных систем автоматизированного управления сложными гибридными комплексами наружного освещения. Поэтому в настоящее время модернизация систем освещения на базе светодиодных источников света не находит широкого применения и носит демонстрационный характер.

К решению данной проблемы необходим системный подход, заключающийся в совместной проработке технических и экономических вопросов внедрения новых высокоэффективных источников света, гибкого индивидуального управления источниками света в гибридных комплексах освещения.

**Целью исследования** является разработка методологии построения нового класса автоматизированных систем управления, обеспечивающих повышение эксплуатационной эффективности сложных комплексов наружного освещения, основанной на применении новой технологии передачи данных по силовым цепям, снижающей стоимость построения системы, приме-

нении гибкого функционального резервирования, повышающего функциональную надежность системы, а также основанного на предложенных технических решениях инновационного механизма модернизации систем наружного освещения.

Основу методики исследования составляют методы математического и статистического анализа, методы обработки информации в автоматизированных системах управления, методы оптимизации, методы математического программирования, теоретические и методологические основы построения автоматизированных систем управления технологическими процессами, имитационного моделирования с применением инструментальных средств автоматизации математических и инженерных вычислений.

Проверка изложенных в работе методов проводилась с использованием компьютерного моделирования и экспериментально [1, 2].

### **Преимущества светодиодного освещения**

Источники света на основе светодиодных излучателей получают все большее распространение в современной технике. Светодиодные светильники по экономии электроэнергии, эксплуатационным и прочим совокупным затратам являются более перспективными чем традиционные.

Интерес крупных компаний к освещению улиц и производственных помещений светодиодными источниками обусловлен уникальными свойствами светодиодного освещения. Оснащение автодорог, магистралей, парков и проспектов светодиодными светильниками уличного освещения позволяет в значительной степени снижать затраты городских бюджетов на электроэнергию, а также уменьшать нагрузку на городские электросети. Отличительными особенностями светильников на базе светодиодных источников света являются такие качества, как долговечность (срок службы светодиодов – до 100 тыс. часов, что эквивалентно 11,5 годам непрерывной работы или 27 лет работы в режиме реального городского освещения), простота в монтаже и обслуживании, устойчивость к воздействиям окружающей среды и высокое качество света (контрастность). Несмотря на довольно высокую первоначальную стоимость, современные светодиодные консольные светильники за счет низкого потребления энергии, отсутствия расходов на эксплуатацию и долговечность окупаются очень быстро. В отличие от традиционных светильников с лампами типов ДНаТ и ДРЛ, которые со временем лишь увеличивают расходы на обслужи-

вание, светильники уличного освещения на светодиодах с каждым годом снижают свою общую стоимость. Необходимость в утилизации светодиодных светильников отсутствует, так как они не содержат ртути, ее производных и других ядовитых или вредных составляющих.

Основным недостатком светодиодного освещения является высокая цена изделий.

Другим недостатком существующих светодиодных светильников является то, что в реальных условиях не обеспечиваются нормальные режимы эксплуатации светодиодных осветительных приборов, что снижает срок службы светодиодов и энергетическую эффективность светодиодного освещения.

### **Предлагаемые решения**

Для устранения данных недостатков предлагаются следующие решения:

– оптимизация энергетической эффективности светодиодных излучателей с целью повышения световой отдачи на единицу мощности;

– оптимизация конструкции теплоотвода светодиодных светильников для снижения весогабаритных характеристик.

В этой связи критическим фактором является обеспечение высокой надежности и максимального продления срока службы светодиодных светильников.

С целью снижения эксплуатационных расходов целесообразно максимально повышать срок эксплуатации светодиодных светильников при минимальных расходах на эксплуатацию. Решение данной задачи выполняется по следующим перспективным направлениям:

1. Повышение ресурса светодиодных источников света за счет автоматической стабилизации температурного режима светодиодов в процессе их эксплуатации.

2. Введение автоматизированного контроля и прогноза ресурса источников света для проведения работ по техническому обслуживанию наружного освещения по текущему состоянию.

3. Снижение стоимости покупки и замены светодиодных светильников на основе гибкого функционального резервирования источников питания.

4. Использование технико-экономического механизма возвратно-целевого финансирования работ по модернизации наружного освещения со снижением бюджетных расходов за счет экономии электрической энергии и эксплуатационных расходов.

При проектировании светодиодных светильников возникает задача выбора для источника света токового диапазона рабо-

ты для обеспечения оптимальных ценовых и весогабаритных характеристик.

Критериями оптимизации являются: обеспечение минимума себестоимости светодиодного светильника  $\min [C_{\text{светильника}}]$ , обеспечение минимума массы радиатора светодиодного светильника  $\min [m_{\text{светильника}}]$ .

Результирующая цена светильника нелинейно зависит от тока светодиодов, причем функция имеет минимум, означающий, что ток, близкий к оптимальному режиму эксплуатации светодиодов, составляет 700 мА (рис. 1).

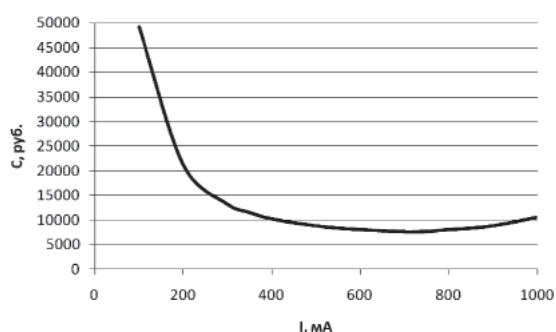


Рис. 1. Зависимость цены светильника от тока светодиодов

При уменьшении массы радиатора происходит увеличение температуры перехода на светодиодах, что приводит к значительному ухудшению световой отдачи светодиодов при фиксированной температуре окружающей среды.

Однако при увеличении потребляемого тока также происходит увеличение температуры на светодиодах, что приводит к уменьшению срока службы светодиодного светильника.

Функциональный резерв светодиодного источника света, определяемый как отношение светового потока источника к минимально допустимому условиям эксплуатации световому потоку, позволяет компенсировать ослабление светового потока в результате эксплуатации [3]. Высокая надежность светодиодных источников света и приборов автоматического управления имеет технические и экономические аспекты, поскольку важнейшим показателем является показатель экономии денежных средств при эксплуатации техники. Чем выше надежность, тем ниже расходы на ремонт и меньше общие расходы на эксплуатацию системы уличного освещения. Повышение уровня надежности, в первую очередь, зависит от повышения функционального резерва и безотказности работы изделий.

Повышение эффективности использования электрической энергии можно достичь на основе модернизации наружного

освещения, которая состоит во внедрении автоматизированной системы энергоэффективного управления комплексом наружного освещения с перспективой последовательного внедрения новых высокоэффективных источников света на базе светодиодов.

Максимально снизить эксплуатационные издержки в системах наружного освещения на базе светодиодных светильников можно путем решения следующих задач:

- разработка интеллектуальных регуляторов светодиодных источников, выполняющих функции плавного регулирования мощности светильников в зависимости от времени суток и других факторов в целях максимальной экономии электроэнергии при условии обеспечения нормативных характеристик освещенности;

- разработка распределенной автоматизированной системы диспетчерского управления наружного освещения на основе современных проводных и беспроводных технологий связи, обеспечивающей энергоэффективное управление светодиодными светильниками, а также контроль технического состояния и параметров работы всего комплекса оборудования наружного освещения, включая автоматизированные пункты питания, кабельные линии и осветительные приборы.

Большой резерв экономии электроэнергии, расходуемой на освещение, заложен в максимальной рационализации управления и регулирования освещением. Своевременное включение и выключение освещения с учетом динамики естественного освещения (с целью максимального использования последнего), а также обеспечение возможностей регулирования яркости искусственного освещения (динамическое освещение) позволяют получить значительную экономию электроэнергии [4].

Большие возможности для экономии электроэнергии в установках наружного освещения городов, населенных пунктов и промышленных предприятий создаются при использовании устройств централизованного дистанционного или телемеханического, а также автоматического управления освещением. Такие устройства позволяют уменьшить потребление электроэнергии на наружное освещение до 50%.

Для передачи информации от автоматизированных пунктов питания к энергоэффективным светильникам целесообразно использовать провода питающей сети. Такой способ передачи информации обладает следующими преимуществами [5, 6]:

1. При передаче информации в качестве несущего сигнала используется силовое питающее напряжение.

2. Поскольку носителем информационного сигнала является само питающее напряжение, возможно получение больших расстояний распространения сигнала.

3. Мощность, затрачиваемая на реализацию управляющего сигнала, минимальна, поскольку модуляция осуществляется ключевым режимом работы коммутационных элементов.

4. Возможна реализация как централизованного, так и индивидуального управления всеми объектами в составе системы освещения.

В основе метода передачи информации по питающей сети лежит тот принцип, что

для передачи информации используется изменение угла широтной модуляции в начале полупериода сетевого напряжения в пределах  $5...10^\circ$ , причем выбранный диапазон изменения угла модуляции не оказывает влияния на работу импульсных преобразователей питающего напряжения. В силовую электропроводку при этом не вносятся никаких дополнительных источников сигнала, что не нарушает правила эксплуатации силовой электропроводки зданий и не является источниками электромагнитных помех.

Структура системы передачи информации по проводам питающей сети представлена на рис. 2.

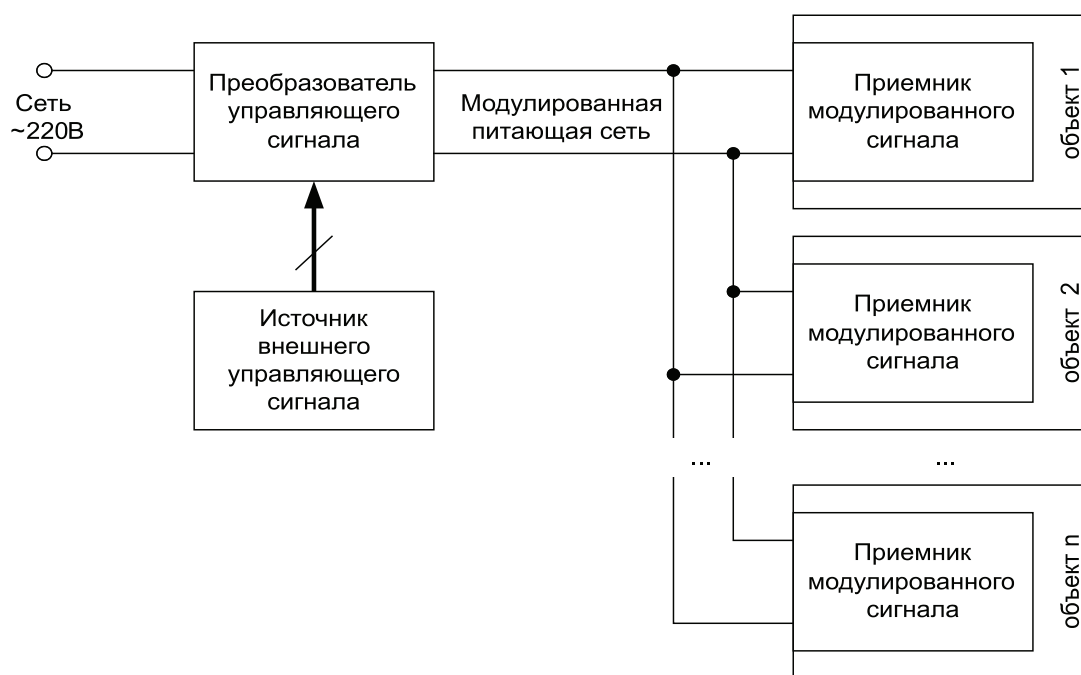


Рис. 2. Структура системы передачи информации по проводам питающей сети

#### Подход к внедрению энергосберегающих проектов

Для реализации процесса модернизации системы освещения целесообразно организовать целевой фонд финансирования модернизации освещения.

Наполнение фонда целесообразно осуществлять за счет экономии денежных средств, образующейся вследствие повышения энергетической эффективности модернизируемого уличного освещения. Полученная экономия должна аккумулироваться в указанном целевом фонде. Аккумулированные средства фондов целевым образом направляются в рамках выполняемой программы на развитие работ по модернизации уличного освещения. При этом усиливается приток средств в соответствующий фонд модернизации уличного освещения.

Таким образом, можно постепенно увеличивать объемы работ по модернизации уличного освещения с перспективой реализации всех работ.

Правовая основа создания механизма возвратного целевого финансирования – Федеральный закон РФ от 23 ноября 2009 г. № 261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты российской федерации», регулирующий отношения по энергосбережению и повышению энергетической эффективности.

В основу усиления финансирования работ по модернизации системы уличного освещения целесообразно положить технико-экономический механизм **возвратного целевого финансирования**.



Процесс эволюционного внедрения энергоэффективных систем уличного освещения подразумевает выделение первоначального бюджетного финансирования на частичное выполнение энергоэффективных работ. Полученную экономию денежных средств рекомендуется направлять в возвратно-целевой фонд. Дальнейшее финансирование работ происходит за счет сэкономленных средств – средств возвратно-целевого фонда.

В работе [7] рассмотрен технико-экономический механизм эволюционной модернизации систем наружного освещения на базе внедрения автоматизированных систем управления светодиодными источниками света повышенной эксплуатационной надежности и функциональным резервированием. Функциональный резерв светодиодных источников света позволяет решить

задачу компенсации процессов старения осветительных приборов (поддержание суммарного светового потока на заданном уровне в течение всего срока службы светильника) в автоматическом режиме, что, в свою очередь, будет способствовать уменьшению затрат на проведение ремонтно-профилактического обслуживания светильников и повышению общего срока безотказной работы системы уличного освещения в целом.

Разработано программное обеспечение, позволяющее произвести расчет экономии электроэнергии от эволюционного внедрения энергоэффективных систем наружного освещения. На рис. 3 представлен вариант расчета экономии денежных средств от эволюционного внедрения энергоэффективных систем наружного освещения в зависимости от года выполнения программы.

**Результат расчета вариант №1. Экономия денежных средств от эволюционного внедрения энергоэффективных систем уличного освещения**



Рис. 3. Расчет экономии денежных средств за счет внедрения энергоэффективных систем уличного освещения

**Заключение**

В настоящее время при модернизации систем освещения необходимо решать совместно технические и экономические вопросы внедрения новых высокоэффективных источников света, гибкого индивидуального управления источниками света в гибридных комплексах освещения.

Поэтому предлагается внедрение распределенных автоматизированных систем диспетчерского управления с гибкой итерационной структурой, с плавным регулированием яркости светильников уличного освещения с повышенными энергетической

эффективностью, надежностью и качеством уличного освещения на основе централизованного автоматического и оперативно-диспетчерского управления режимами светодиодных источников света.

В работе предложен новый метод передачи информации по силовым цепям на основе использования широтной модуляции питающего напряжения, обеспечивающий построение автоматизированных систем гибкого адаптивного управления гибридными комплексами наружного освещения повышенной эксплуатационной эффективности.

Для реализации проектов модернизации автоматизированных систем уличного освещения при дефиците бюджетных средств необходимо использовать технико-экономический механизм эволюционной модернизации гибридных комплексов наружного освещения с гибким функциональным резервом на основе возвратно-целевого финансирования проектов.

#### Список литературы

1. Выбор оптимального режима работы светодиодных излучателей / В.И. Константинов, Е.В. Вставская, Т.А. Барбасова, В.О. Волков // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия «Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника». – 2010. – Вып. 11, №2 (178). – С. 46–51.
2. Проектирование светодиодных источников света по максимуму функционального резерва при ограничении на весогабаритные характеристики / Л.С. Казаринов, Е.В. Вставская, В.И. Константинов, Т.А. Барбасова // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия «Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника». – 2011. – Вып. 13, №2 (219). – С. 74–81.
3. Барбасова Т.А. Определение параметров эксплуатационной надежности элементов систем управления уличного освещения / Т.А. Барбасова, Е.В. Вставская, А.А. Захарова // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия «Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника». – 2011. – Вып. 14, №23 (240). – С. 102–106.
4. Патент 99913 Российская Федерация, МПК Н 04 В 3/56. Устройство для приема-передачи информации по питающей сети и управления режимами работы потребителей электрической энергии / Барбасова Т.А., Вставская Е.В., Константинов В.И., Константинова О.В., Костарев Е.В. – №2010128856/09; заявл. 12.07.2010; опубл. 27.11.2010, Бюл. №33 (IV ч.) – с. 1057-1058.
5. Построение систем передачи информации по проводам питающей сети / В.И. Константинов, Е.В. Вставская, Т.А. Барбасова, Костарев Е.В. // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия «Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника». – 2011. – Вып. 14, №23 (240). – С. 60–65.
6. Вставская Е.В. Построение систем управления сложными комплексами наружного освещения / Е.В. Вставская, Т.А. Барбасова // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия «Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника». – 2011. – Вып. 14, №23 (240). – С. 98–102.
7. Автоматизированные системы управления энергоэффективным освещением: монография / Л.С. Казаринов, Д.А. Шнайдер, Т.А. Барбасова, Е.В. Вставская и др.; под ред. Л.С. Казаринова. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, издатель Т. Лурье, 2011. – 208 с., ил.

#### Рецензенты:

Привезенцев А.П., д.ф.-м.н, профессор кафедры радиофизики и электроники Челябинского государственного университета, г. Челябинск;

Чернов В.М., д.ф.-м.н, профессор кафедры радиофизики и электроники Челябинского государственного университета, г. Челябинск.

Работа поступила в редакцию 17.10.2011.