

Концепция применения светильников со светодиодами в целях реализации программы энергосберегающего освещения

Александр ПОЛИЩУК
a.polishuk@prosoft.ru
Андрей ТУРКИН
turkin@prosoft.ru

В статье рассматриваются основные аспекты применения светодиодных светильников для различных областей освещения — в жилых зданиях, общественных местах, промышленных объектах, а также проводится оценка экономического эффекта их применения по сравнению с традиционными источниками света, выраженного, например, в экономии электроэнергии.

Введение

На любом промышленном предприятии и в сфере жилищно-коммунального хозяйства, в соответствии с законодательством Российской Федерации, необходимо принимать меры по энергосбережению. В настоящее время на рынке осветительных приборов появился ряд источников света, которые позволяют революционно улучшить как светотехнические, так и электрические параметры осветительных установок при обеспечении высокой надежности, долговечности и, что очень важно, экономии электроэнергии. Одними из таких источников являются светодиодные светильники. В статье будут рассмотрены аспекты применения светодиодных светильников при освещении жилых зданий и сооружений, в общем освещении придомовых территорий и общественных мест.

Перерывы в работе осветительных установок в основных помещениях жилищно-коммунального хозяйства должны быть сведены к минимуму, тогда как технологический процесс многих крупных и средних предприятий их просто не допускает. В связи с этим предъявляются жесткие требования к электрическим схемам питания светильников. Надежность схемы электроснабжения, бесперебойность подачи электроэнергии к светильникам и большой срок наработки на отказ используемого оборудования — основополагающие требования при создании осветительных установок. Не менее важными требованиями, описанными в действующих нормативных документах, являются предельные величины и частоты колебаний напряжения, допускаемые для осветительных сетей. Частота резких изменений напряжения у ламп рабочего освещения при изменениях до $\pm 1,5\%$

может быть любой, при изменениях от $\pm 1,5$ до $\pm 4\%$ частота колебаний должна быть не более 10 раз в час, а при изменениях свыше $\pm 4\%$ — не более одного раза в час. Питание же аварийного освещения должно соответствовать высокой степени надежности и обеспечивать бесперебойную работу, что в современных условиях достигается установкой резервного генератора или применением светильников с автономным источником электропитания (аккумуляторной батареей).

Традиционно осветительные сети, прокладываемые от источников питания до светильников, разделяются на две составные части — групповую и питающую. Питающей сетью называются линии, прокладываемые от подстанций до групповых щитков, групповой сетью — линии, прокладываемые от групповых щитков до светильников. Существует множество различных схем питания осветительных электроустановок, на выбор каждой из которых оказывают влияние несколько факторов. Основными являются наличие на проектируемом или существующем объекте общих или раздельных трансформаторов для питания силовых и осветительных потребителей; схема низковольтной части подстанции; принятые для данного здания виды освещения; требования к управлению освещением; принятая система номиналов напряжения и мощность используемых источников света (ИС). При непосредственном проектировании установок важным требованием является недопустимость превышения максимального значения $\Delta U = 5,0\% U_{НОМ}$. По статистике эксплуатации, в питающей сети теряется 1,5–2,0%, в групповой сети — 3,0–3,5% $U_{НОМ}$.

Внедрение в системы освещения светодиодов заставляет изменить эту ситуацию.

История создания светодиодов

Первые открытия в области электролюминесценции были сделаны в России и, как часто бывает, совершенно случайно. В 1923 году российский физик Олег Владимирович Лосев обнаружил эффект слабого свечения кристаллов карборунда при пропускании через них электрического тока. Таким образом был открыт эффект прямого преобразования энергии электрического тока в энергию излучения света.

Однако мощность излучения и КПД созданного источника света были настолько малы, что он представлял лишь научный интерес, хотя Лосев уже тогда предположил возможную область применения открытого им эффекта.

Практическая же реализация твердотельных светоизлучающих приборов, представляющая коммерческий интерес, стала возможной лишь в 60–70 годы XX века после обнаружения эффективной люминесценции полупроводниковых соединений типа A^mB^V — фосфида и арсенида галлия и их твердых растворов. На основе этих материалов были созданы первые светодиоды, и, таким образом, был заложен фундамент нового направления науки и техники — оптоэлектроники.

Существенный вклад в развитие данного направления внесли советские ученые. Жорес Иванович Алферов — академик Российской Академии Наук (РАН), директор Физико-технического института им. А. Ф. Иоффе РАН, лауреат Ленинской премии — получил золотую медаль Американского физического общества за исследования гетероструктур на основе AlGaAs еще в 70-х годах прошлого века. В 2000 г., когда стало ясно, насколько велико значение этих работ для раз-

вития науки и техники, насколько важны их практические применения для человечества, ему была присуждена Нобелевская премия.

В настоящее время одним из наиболее перспективных материалов для создания светодиодов в коротковолновой (синей и зеленой) области видимого спектра считается нитрид галлия (GaN).

Технология выращивания нитрида галлия и создания светодиодных кристаллов на его основе развиваются в последние годы весьма бурными темпами. Исследования, начавшиеся в конце 60-х годов группой Жака Панкова в США и приостановленные в начале 80-х XX века по причине технологических трудностей получения материала *p*-типа проводимости, были продолжены в Японии. В 1989 г. Исаму Акасаки и Хироши Амано с коллегами из Университета Нагойи продемонстрировали первый светодиод на основе GaN со слоем *p*-типа проводимости. Чуть позднее, в 1992 году, они опубликовали статью о создании первого светодиода на основе GaN с гомогенным *p-n*-переходом [1]. Данный светодиод излучал свет в ультрафиолетовом и синем спектральном диапазонах. В 1990 году разработкой светодиодов на основе GaN занялся Шуджи Накамура, сотрудник компании Nichia Chemical. Результатом его работы стали первые светодиоды голубого и зеленого свечения, созданные на основе двойных гетероструктур InGaN/GaN с квантовыми ямами, выращенных методом газовой эпитаксии из металлоорганических соединений. Эти светодиоды были получены в 1993–1995 годах [2]. Также результатом работы Накамуры стали первые импульсные лазеры и лазеры непрерывного излучения в голубой области спектра, работающие при комнатной температуре, и светодиоды белого свечения с использованием люминофора, преобразующего длину волны синего излучения кристалла в желто-зеленое свечение.

На протяжении последних лет многие ведущие производители, крупнейшими из которых являются Nichia Corporation, Cree

и Lumileds Lighting (Philips), продолжают интенсивные исследования, направленные на увеличение эффективности и надежности полупроводниковых источников света. С 2005 года две компании — Nichia Corporation и Cree — обеспечивают более 80% мирового производства кристаллов синего и зеленого свечения.

Сегодня наилучших результатов в области создания светодиодных ламп белого цвета свечения добилась компания Cree. Ей удалось получить эффективное массовое изделие с уникальными эксплуатационными характеристиками, обеспечивающее типовое значение световой отдачи более 100 лм/Вт в диапазоне цветовых температур 5500–6500 К при токе 350 мА и потребляемой мощности 1,07 Вт. Отдельные образцы приборов обеспечивают световой поток до 114 лм при токе 350 мА и 180 лм при 700 мА (электрическая мощность 2,3 Вт).

На основе светодиодов компании Cree уже сегодня производятся светильники, которые используются для архитектурной подсветки и различных видов освещения. В Москве выполнено несколько такого рода проектов, в которых производителем светотехнических изделий на базе светодиодных ламп Cree Xlamp выступила российская компания XLight, а поставщиком полупроводниковых изделий и готовых светотехнических решений торговой марки XLight — компания «Прософт». На рис. 1 представлен один из таких проектов — подсветка здания «Газпрома» на улице Наметкина. В сентябре текущего года в Москве впервые были установлены светильники ДВУ-25 совместного производства компаний XLight и «Светосервис» на основе светодиодов Cree в подземном переходе в районе станции метро «Рижская» (рис. 2).

Особенности систем питания комбинированных осветительных сетей

Для производства светодиодных светильников (СДС) обычно используют специаль-

ные светодиодные модули. Все светодиодные модули (СДМ), состоящие из одного или нескольких светодиодов, питаются постоянным током, величина которого может изменяться. Для получения постоянного тока должно использоваться устройство со специальной электрической схемой — драйвер. Входное напряжение драйвера обычно выбирают из стандартного ряда номинальных значений: 12, 24 или 48 В. Для СДС, способных освещать помещение с высотой потолка 4 метра и даже уличные пространства, целесообразно использовать стандарт 48 В. Этот номинал напряжения достаточно широко распространен в слаботочных системах современных зданий. Кроме того, в стандарте 48 В во всем мире массово выпускаются источники питания для телекоммуникационных применений, которые с успехом могут использоваться в осветительных системах благодаря высокой надежности и низкой стоимости.

Традиционно источник питания с входным напряжением 220 В переменного тока и СДМ располагали в одном корпусе, что было продиктовано единичными случаями их использования. С появлением возможности создания осветительных систем, использующих совместно СДС с традиционными ИС, острее стал вопрос о пересмотре концепции выбора для конкретного объекта номиналов питающего напряжения и принятия допустимых уровней отклонения его параметров [3].

Используемое сейчас при проектировании совмещение силовых и осветительных питающих сетей не приводит, как правило, к улучшению экономических показателей и создает неудовлетворительный режим подачи питающего напряжения для ламп. Совмещение питающих сетей оправдано сегодня только для небольших зданий и при использовании схем промежуточной трансформации ввиду чувствительности традиционных ИС к отклонениям и колебаниям напряжения. Снижение напряжения на 1% вызывает уменьшение светового потока у ламп накаливания на 3–4%, у люминесцентных ламп — на 1,5%,



Рис. 1. Фрагмент подсветки здания «Газпрома» на улице Наметкина с помощью светильников на основе светодиодов Cree



Рис. 2. Светильники ДВУ-25 на основе светодиодов Cree в подземном переходе в Москве

у ртутных ламп (ДРЛ) — на 2,2% [4]. Снижение напряжения на 10% вызывает у люминесцентных ламп уменьшение светового потока на 30–40%. При снижении напряжения на 20% и более не происходит зажигания газоразрядных ламп. Повышение напряжения на 10% у ламп накаливания и люминесцентных сокращает срок их службы до 25–30% [4]. Однако используемый в СДС драйвер способен поддерживать требуемые выходные параметры даже при уровне напряжения в питающей сети, равном 70% от номинального. Таким образом, при питании СДМ от магистрального силового щита появляется возможность соблюдения необходимых требований к качеству электроэнергии для осветительных приборов с длиной групповых сетей, которая ранее была недопустима.

Уровень напряжения в осветительных электросетях средних и крупных зданий может по ряду причин резко изменяться. По статистике, напряжение в электросети в ночное время повышается. При малой величине реактивной мощности в ночные часы это повышение во многих случаях может быть велико, что неизбежно приводит к выходу из строя ламп. Колебания напряжения вызываются также изменением силовой нагрузки в течение суток, особенно при большой длине питающих линий 220/380 В и высокого напряжения. Колебания напряжения имеют также сезонный характер: в летнее время отключаются отопительная система, котельные, сокращается осветительная нагрузка, и, как следствие, напряжение в это время в низковольтной электросети повышается.

Наиболее часто применяемая схема осветительной части электрооборудования типовой блок-секции шестнадцатиэтажного дома приведена на рис. 3 [5, 6]. Электроснабжение жилых домов имеет некоторые осо-

бенности. В схеме выделяются следующие группы потребителей:

- освещение эвакуационных балконов;
- освещение приквартирных холлов;
- освещение лестничных клеток;
- освещение лифтовых холлов;
- освещение коридоров;
- освещение балконов;
- освещение лифтовых шахт;
- освещение технических помещений;
- освещение подвала;
- освещение тамбуров;
- освещение чердаков;
- подсветка номеров дома.

Все эти потребители подключаются от отдельных групп электропитания. При таких схемах включения светильники, освещающие приквартирные холлы, получают питание от того же щитка, что и электродвигатели лифтов, вентиляции, систем водоснабжения и пожаротушения. Кроме того, эти устройства работают в повторно-кратковременном режиме и, следовательно, влияют на качество электроэнергии в сети.

Реализация системы низковольтного питания для светодиодных светильников

Для построения системы низковольтного питания СДС, с целью обеспечения назначенного ресурса работы и гарантийного срока эксплуатации (5 лет), рекомендуется использовать источники вторичного электропитания (ИВЭП) серии HWS производства компании Nemic Lambda. Такое решение реализовано в подземном пешеходном переходе, где использовали СДС типа ДВУ-25 (рис. 2).

Система, включающая в себя источники электропитания серии HWS и блоки диммирования с часами реального времени, отно-

сится к разделу 5.4.2 ГОСТ Р 51318.15-99 «Отдельное вспомогательное оборудование, предназначенное для работы исключительно со световым оборудованием» и соответствует нормам ГОСТ Р 51318.15-99 по пунктам 4.3 «Напряжение ИРП» и 4.4 «Излучаемые ИРП».

Кроме того, источники вторичного электропитания серии HWS обеспечивают эксплуатацию в температурном диапазоне от –40 до +75 °С и имеют ресурс непрерывной наработки на отказ не менее 500 тыс. часов.

В таблице 1 показано соответствие типа ИВЭП и количества светильников в линии питания на примере светильника ДВУ-25.

Таблица 1. Соответствие типа ИВЭП и количества светильников в линии питания на примере светильника ДВУ-25

Тип ИВЭП	Мощность нагрузки, Вт	Количество светильников в линии
HWS30-48/HD	30	1
HWS80-48/HD	80	2
HWS100-48/HD	100	3
HWS150-48/HD	150	5
HWS300-48/HD	300	10
HWS600-48/HD	600	20
HWS1000-48/HD	1000	30
HWS1500-48/HD	1500	50
HWS1800-48/HD	1800	60

Сравнение различных типов светильников

Рассмотрим варианты использования нескольких типов светильников в жилом доме. При традиционном освещении лампами накаливания (ЛН) типовой блок-секции шестнадцатиэтажного дома (рис. 3) требуется 3,9 кВт. При использовании в этом блоке жилого дома компактных люминесцентных ламп (КЛЛ) мощностью 36 Вт (КЛЛ-36) на осветительные цели необходимо зарезервировать 1,404 кВт. При замене ЛН на СДС мощностью 20 Вт (СДС-20) с соответствующими светотехническими характеристиками установленная мощность снижается до 0,780 кВт, что составляет 20% от первоначального значения и 45,8% от потребления КЛЛ (без учета потерь в групповых сетях) [8]. Ниже приведена таблица 2, в которой представлено сравнение технико-экономических показателей ЛН (2×100 Вт), КЛЛ-36 и СДС-20 [4].

Расчетные данные, приведенные в столбце «СДС-20» таблицы 2, сделаны для светильника, являющегося решением XLight для светодиодного освещения в ЖКХ. Светильник представлен на рис. 4. Он выполнен в корпусе стандартного светильника «Москвич-1» и предназначен для использования в подъездах жилых домов.

Расчет сделан для одного светильника, исходя из срока эксплуатации 6 лет. При расчете учитывалась необходимость замены КЛЛ, электронных компонентов пускорегулирующих агрегатов и ЛН, а также то, что срок службы светодиодных светильников пример-

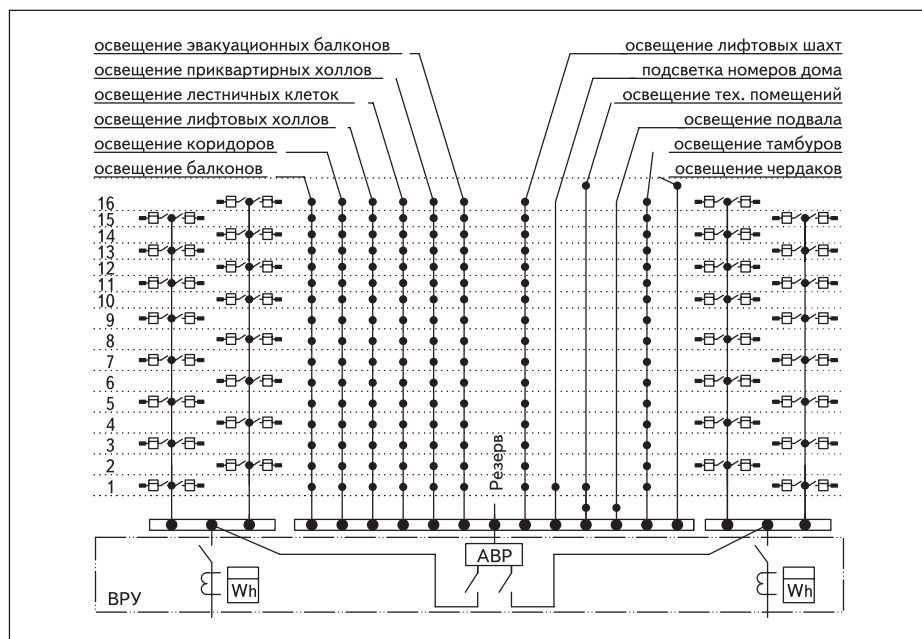


Рис. 3. Принципиальная однолинейная схема электроснабжения 2-подъездного 16-этажного жилого дома



Рис. 4. Светильник для освещения в подъездах жилых домов

Таблица 3. Экономия от замены компактных катодолуминесцентных ламп (КЛЛ) и ламп накаливания (ЛН) на светодиодные светильники (СДС)

	Наименование показателей	КЛЛ-36	ЛН
1	Стоимость сэкономленной за $T_{\text{оц}}$ электроэнергии от внедрения СДС по сравнению с указанными ИС, руб.	2710	18 688
2	Ожидаемая прибыль к концу $T_{\text{оц}}$ для одного светодиодного ИС при сравнении с указанным ИС, руб.	4942	38 358

но соответствует указанному периоду, и, следовательно, их замена не требуется.

Данные по экономии электроэнергии при замене КЛЛ и ЛН на СДС (для одного светильника) приведены в таблице 3. При этом на основании данных, приведенных в таблице 1, срок окупаемости СДС при замене ими КЛЛ составляет (для одного светильника) около 2 лет, а при замене ими ЛН — менее 4 месяцев.

Если функционирование освещения производится в соответствии с принятым графиком, то среднегодовое время работы светильника составит 4033 часа. В домах с газовыми плитами (тариф 2007 года — 2,08 руб./кВт·ч) затраты на электроэнергию составят: для ЛН — 32 716 руб., для КЛЛ — 11 325 руб., для СДС — 6543 руб. Годовая экономия для КЛЛ и СДС составит соответственно 21 392 руб. и 26 173 руб.

С учетом получаемого экономического эффекта, перечисленные аспекты применения светодиодов являются актуальными и требуют более широкого их внедрения в различных области освещения [8]. Помимо эконо-

Таблица 2. Сравнение технико-экономических показателей различных источников света (ИС)

	Наименование показателей	КЛЛ-36	СДС-20	ЛН
1	Мощность, Вт	36	20	2×100
2	Световой поток источника света, лм	2400	2000	2000
3	КПД электронного пускорегулирующего аппарата (ЭПРА), %	75	90	—
4	Реально потребляемая мощность, Вт	48	22	200
5	Коэффициент использования светового потока*, %	70	100	100
6	Эффективность источника света, лм/Вт	67	100	10
7	Эффективность светильника, лм/Вт	35	90	10
8	Стоимость изделия, руб.	360	2000	10
9	Срок использования до плановой замены, ч	7500	50 000	1000
10	Срок оценки вложений ($T_{\text{оц}}$), год	6		
11	Капитальные затраты, руб.	2850	3570	9580
12	Стоимость монтажа изделий, руб.	570		
13	Количество чисток в год, шт.	3		
14	Стоимость одной чистки, руб.	300		
15	Стоимость замены одного источника света, руб.	250		
16	Число часов использования в год, ч	8760		
17	Стоимость 1 кВт·ч электроэнергии, руб.	2		
18	Стоимость чисток за $T_{\text{оц}}$, руб.	5400		
19	Стоимость оборудования, заменяемого за $T_{\text{оц}}$, руб.	960	0	520
20	Стоимость работ по замене ИС за $T_{\text{оц}}$, руб.	1752	0	13 140
21	Стоимость электроэнергии за $T_{\text{оц}}$, руб.	5460	2336	21 024
22	Эксплуатационные издержки за $T_{\text{оц}}$, руб.	13 158	7736	40 084

* Без учета потерь в защитном колпаке

мической эффективности, светодиодные осветительные устройства долговечны, их время жизни превышает время жизни компактных люминесцентных лам в несколько раз, а ламп накаливания — в десятки раз. Кроме того, светодиоды не являются хрупкими, в отличие от ламп, поэтому устройства на их основе могут быть вандалостойкими. А возможность низковольтного питания делает их безопасными, то есть не являющимися потенциальными источниками возникновения пожара или взрыва. Благодаря этим факторам, а также увеличившейся в последние годы световой отдаче, светодиоды стали очень перспективными источниками света уже сейчас, и должны завоевать все большие сферы применения в ближайшем будущем. А это значит, что СДС становятся как нельзя актуальными для применения в жилищно-коммунальном хозяйстве и городском освещении, где задачи экономии электроэнергии в сочетании с безопасностью и надежностью играют в настоящее время первостепенную роль. ■

Литература

1. Akasaki I., Amano H., Itoh K., Koide N., Manabe K. GaN based UV/blue light emitting devices // GaAs and Related Compounds conference, Inst. Phys. Conf. Ser. 129, 851, 1992.
2. Nakamura S., Senoh M., Iwasa N., Nagahama S. High-brightness InGaN blue, green and yellow light-emitting diodes with quantum well structures // Jpn. J. Appl. Phys., 34, L797, 1995.
3. ПУЭ. М.: ЗАО «Энергосервис», 2002.
4. Справочная книга по светотехнике / под ред. Айзенберга Ю. Б. М.: Знак, 2006.
5. Справочник по проектированию электропривода силовых и осветительных установок. М.: Союзполиграфпром, 1974.
6. Рябов М. С., Циперман П. А. Электрическая часть осветительных установок. М.: Энергия, 1966.
7. Глушков В. М., Грибнин В. П. Экономия электроэнергии. М.: Энергия, 1972.
8. Кузнецов В. С. Электроснабжение и электроосвещение городов. Минск: Высшая школа, 1989.