

# ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ в освещении

Под редакцией проф. Ю.Б. АЙЗЕНБЕРГА

МОСКВА • ЗНАК • 1999

**Энергосбережение в освещении. Под ред. проф. Ю.Б. Айзенберга.  
М.: Издательство «Знак», 1999, 264 с.: ил.**

Выполнен аналитический обзор состояния производства и применения энергоэффективных люминесцентных ламп, натриевых ламп высокого давления, безэлектродных люминесцентных и сверхвысокочастотных разрядных ламп, светодиодов, электронной пускорегулирующей аппаратуры, систем автоматизированного управления освещением.

Для специалистов в области светотехники, а также может быть использована студентами соответствующих специальностей.

**ISBN 5-87789-057-3**

© Дом Света, 1999.

Редактор *Л.П. Варфоломеев*  
Компьютерная верстка *Е.В. Глазовой*

**ЛР № 063079 от 26.10.98.**

---

Сдано в набор 10.07.99. Подписано в печать 14.09.99.  
Печ. л. 16,5. Формат 60×88 1/16. Тираж 200 экз. Заказ 259.

Издательство «ЗНАК», Москва 103012, Б. Черкасский пер., 2/10  
Типография МЭИ  
Москва 111250, Красноказарменная ул., 13

## **Предисловие**

Проблема энергосбережения имеет огромное народнохозяйственное значение. В осветительных установках расходуется около 13 % всей генерируемой электрической энергии, т.е. почти 107,6 млрд. кВт·ч. Парк установленных в стране светильников превышает 1 млрд. штук. Вместе с тем, как показали исследования, имеется реальная возможность практически вдвое снизить расход электроэнергии без ухудшения условий освещения за счет совершенствования средств и способов освещения, реконструкции действующих установок и организации их грамотной эксплуатации.

В настоящей книге, являющейся сборником статей отечественных авторов, рассмотрены основные направления энергосбережения путем применения современных средств и методов освещения. Книга базируется на использовании материалов серии брошюр «Новости светотехники», издаваемой московским Домом Света.

В книге приведены аналитические обзоры состояния производства и применения энергоэффективных люминесцентных ламп, компактных люминесцентных ламп, натриевых ламп высокого давления, безэлектродных люминесцентных и сверхвысокочастотных разрядных ламп, светодиодов, электронной пускорегулирующей аппаратуры, систем автоматизированного управления освещением. Наряду с этим в книге изложены общие проблемы и задачи энергосбережения в осветительных установках и новые европейские нормы освещения.

Важно отметить, что в 1999 г. утверждены новые московские нормативы МГСН 2.01-99 "Энергосбережение в зданиях", (раздел "Искусственное освещение в зданиях"), в которых для основных групп помещений нормируются не только значения освещенности, но и предельные значения удельной установленной мощности ( $\text{Вт}/\text{м}^2$ ), которые могут быть обеспечены только при использовании современных методов и средств освещения, рассмотренных в настоящей книге.

Московский Дом света продолжает подготовку и выпуск брошюр из серии "Новости светотехники", посвященных не только проблеме энергосбережения, но и другим важным направлениям светотехники, в частности, использованию ультрафиолетового излучения в бактерицидных и эритемных установках, компьютерным методам расчета и визуализации осветительных установок, вопросам естественного освещения. Аbonементная подписка на серию брошюр осуществляется в Доме света (контактные телефоны 286-68-85, 283-76-92).

Надеемся, что настоящая книга найдет своего заинтересованного читателя. Мы будем благодарны за любые предложения и замечания, направленные на ее улучшение, а также за Ваше участие в подписке на "Новости светотехники".

Доктор техн. наук, профессор Ю.Б. Айзенберг

# **Энергосбережение в светотехнических установках**

**Ю.Б. Айзенберг, Н.В. Рожкова**

## **1. Введение**

Повышение энергоэффективности осветительных установок (ОУ) неразрывно связано с задачей комплексного снижения затрат в ОУ, так как для любого потребителя важно не только снижение энергоемкости, но и срок окупаемости затрат на новую или переоборудуемую ОУ. В конечном итоге эффективность ОУ определяется стоимостью световой энергии, генерируемой за срок службы ОУ и в значительной степени зависящей от затрат на электроэнергию (ЭЭ).

Как известно, в любой ОУ структура стоимостных показателей складывается, в принципе, следующим образом:

- капитальные затраты на осветительные приборы (ОП) и источники света (ИС) — 10 ÷ 15 % ;
- затраты на монтаж и обслуживание ОП — 15 %;
- стоимость электроэнергии — 70 ÷ 75 %.

Экономия электроэнергии на освещение не должна достигаться за счет снижения норм освещенности, отключения части световых приборов или отказа от использования искусственного освещения при недостаточном уровне естественного света, поскольку потери от ухудшения условий освещения значительно превосходят стоимость сэкономленной электроэнергии.

Эффективной следует считать такую ОУ, которая создает высококачественное освещение и сохраняет свои характеристики на протяжении длительной работы при наименьших капитальных и эксплуатационных затратах, в том числе при минимальном энергопотреблении.

Эффективность ОУ зависит прежде всего от:

- световой отдачи ИС и их срока службы;
- светотехнических и энергетических параметров ОП;

- стабильности на протяжении эксплуатации параметров светильников и, в частности, характеристик ИС при работе их в светильнике;
- тарифов на ЭЭ;
- числа часов использования ОУ в год.

Наряду с этим, немаловажное значение имеет стоимость ламп и светильников, а также стоимость монтажа и обслуживания.

Отсюда очевидна необходимость при решении проблемы энергосбережения рассмотреть технические характеристики, эффективность применения, масштабы использования различных групп:

- источников света;
- осветительных приборов;
- пускорегулирующей аппаратуры;
- систем, сокращающих время использования искусственного освещения;
- способов сохранения характеристик ОУ в процессе длительной работы.

Вместе с тем, важное значение имеют энергосберегающие способы освещения и современные методы и режимы эксплуатации ОУ.

Ниже последовательно рассмотрены основные группы вопросов, влияющих на энергопотребление и снижение стоимости световой энергии.

## **2. Рекомендации по энергосбережению в осветительных установках**

### **2.1 Нормирование**

Важнейшей задачей является законодательное закрепление энергосберегающих требований к светотехническим изделиям и установкам в стандартах, нормах и правилах.

В 1997 — 98 годах разработаны новые "Нормы энергосбережения при проектировании осветительных установок г. Москвы" МГСН 2.01-99, утвержденные Правительством Москвы 23.02.99 г.

Вновь создаваемые и реконструируемые ОУ должны соот-

Таблица 2.1

Наименование помещения	Максимальная нормируемая освещенность по МГСН 2.06-97	Максимально допустимая удельная мощность, Вт/м <sup>2</sup> , не более
1	2	3
<b>Здания управления (министерства, ведомства, комитеты, управления, префектуры, муниципалитеты), конструкторских и проектных организаций, научно-исследовательских учреждений, библиотеки</b>		
Кабинеты и рабочие комнаты, офисы, машинописные и машиносчетные бюро	400	25
Проектные комнаты и залы, конструкторские и чертежные бюро	500	35
Помещения для ксерокопирования, электрофотографирования и т. п.	400	25
Помещения для работы с дисплеями, видеотерминалами, мониторами	400	25
Читальные залы	400	25
Лаборатории	500	35
<b>Учреждения финансирования, кредитования и государственного страхования</b>		
Операционный зал, кассовый зал	500	35
<b>Общеобразовательные школы и школы интернаты, профессионально-технические, средние специальные и высшие учебные заведения</b>		
Классные комнаты, аудитории, учебные кабинеты, лаборатории, лаборантские, кабинеты информатики и вычислительной техники	400	25
<b>Детские дошкольные учреждения</b>		
Групповые, игровые, столовые, комнаты для музыкальных и гимнастических занятий	400	25
<b>Предприятия общественного питания</b>		
Обеденные залы столовых, закусочных, буфетов	200	14
Помещения приготовления пищи	400	25
<b>Магазины</b>		
Торговые залы супермаркетов	500	35
Торговые залы магазинов	400	25

*Продолжение таблицы 2.1*

1	2	3
<b>Предприятия бытового обслуживания населения</b>		
Парикмахерские	400	25
Ателье пошива и ремонта одежды	750	52
<b>Аптеки</b>		
Залы обслуживания посетителей	200	14
<b>Жилые здания</b>		
Комнаты общежитий	300	20
Поэтажные внеквартирные коридоры, лестницы, вестибюли жилых зданий	20	4
<b>Закрытые стоянки, депо</b>		
Помещения для закрытого хранения подвижного состава на транспортных предприятиях и общественных учреждениях	75	10
<b>Станции технического обслуживания транспорта, транспортные предприятия</b>		
Участки, посты мойки	200	14
Участки диагностирования автомобилей	300	20
Участки технического обслуживания	200	14

*Примечание.* В табл. 2.1 значения удельной мощности приведены с учетом потребления мощности в пускорегулирующих устройствах, а также устройствах управления освещением.

ветствовать требованиям новых энергосберегающих норм. В качестве энергетического показателя, определяющего рациональное потребление электроэнергии, определена удельная установленная мощность, Вт/м<sup>2</sup>.

Новые энергосберегающие нормы позволяют при их применении снизить затраты электроэнергии в ОУ зданий на 20 – 40 %. Кроме того, их следует рассматривать как основу нормативной базы для контроля энергозатрат в ОУ на стадии экспертизы проектов. Согласно новым нормам, ОУ, проработавшие более 8 лет, должны быть реконструированы.

## 2.2 Источники света

Энергетическая эффективность и срок службы различных типов ИС, как известно, резко различаются. За период своей работы разрядные лампы (РЛ) вырабатывают в 50 — 100 раз больше световой энергии на 1 условный Ватт потребляемой мощности по сравнению с лампами накаливания.

Основные характеристики различных ИС приведены в табл. 2.2.

Возможная экономия ЭЭ, которая может быть получена в ОУ за счет замены менее эффективных ИС более эффективными ИС (при сохранении нормируемых уровней освещенности) приведена в табл. 2.3.

В новых и реконструируемых ОУ целесообразно использовать энергоэкономичные ИС, которые за последнее десятилетие получили широкое распространение. В первую очередь это относится к энергоэкономичным ЛЛ мощностью 18, 36 и 58 Вт в колбе диаметром 26 мм вместо традиционных ламп 20, 40 и 65 Вт

**Таблица 2.2**  
**Основные характеристики источников света**

Тип источника света	Средний срок службы, ч	Индекс цветопередачи, $R_a$	Световая отдача, лм/Вт	Световая энергия, вырабатываемая за срок службы (на 1 усл. Вт)	
				Млм × ч	отн. ед.
Лампы накаливания общего назначения (ЛН)	1000	100	8 — 17	0,013	1
Люминесцентные лампы (ЛЛ)	10 000 — 12 000	92 — 57	48 — 80	0,911	69
Компактные люминесцентные лампы (КЛЛ)	5500 — 8000	85	65 — 80	0,460	35
Дуговые ртутные лампы (ДРЛ)	12 000 — 20 000	40	50 — 54	0,632	48
Натриевые лампы высокого давления (НЛВД)	10 000 — 12 000	25	85 — 120	0,960	94
Металлогалогенные лампы (МГЛ)	3000 — 10 000	65	66 — 90	0,780	60

Таблица 2.3

**Возможная экономия ЭЭ за счет перехода на более эффективные ИС**

При замене ИС	Средняя экономия ЭЭ, %
ЛН на КЛЛ	60 — 80
ЛН* на ЛЛ	40 — 54
ЛН* на ДРЛ	41 — 47
ЛН* на МГЛ	54 — 65
ЛН* на НЛВД	57 — 71
ЛЛ на МГЛ	20 — 23
ДРЛ на МГЛ	30 — 40
ДРЛ на НЛВД	38 — 50

\* При снижении нормированной освещенности для ЛН на одну ступень в соответствии с действующими нормами освещения.

енные в лампу малогабаритные (ПРА) и стандартный резьбовой цоколь (Е27, Е14, В22), могут заменять напрямую в существующих светильниках ЛН мощностью от 25 до 100 Вт. Применение таких КЛЛ может быть наиболее эффективным именно в тех видах ОУ, где сегодня наиболее массовым ИС является ЛН. Такой областью применения является жилой сектор.

Сравнительные характеристики КЛЛ и ЛН приведены в табл. 2.4.

Возможная экономия ЭЭ при замене ЛН на КЛЛ приведена в табл. 2.3

в колбе диаметром 38 мм.

Появление и бурное развитие в последние годы компактных люминесцентных ламп (КЛЛ), имеющих в 8 — 10 раз больший срок службы и в 5 раз большую световую отдачу по сравнению с ЛН, показывают необходимость значительного расширения применения этих ламп в наиболее важных и "отзывчивых" сферах — в жилом секторе, а также в коммерческих и общественно-административных зданиях. КЛЛ малых размеров, имеющие встро-

Таблица 2.4

ЛН		КЛЛ		Отношение световой отдачи КЛЛ к световой отдаче ЛН, отн. ед.
мощность, Вт	световой поток, лм	мощность, Вт	световой поток, лм	
25	200	5	200	4,3
40	420	7	400	5,3
60	710	11	600	4,5
75	940	15	900	4,7
100	1360	20	1200	4,3
2 × 60	1460	23	1500	5,4

В осветительных установках с люминесцентными лампами при отсутствии или невысоких требованиях к цветоразличению следует применять ЛЛ типа ЛБ, обладающие высокой световой отдачей. При наличии требований к цветоразличению должны использоваться ЛЛ типов ЛДЦ, ЛЕЦ, ЛХЕ или ЛБЦТ. Использование ЛЛ типов ЛБЦТ, где это возможно, взамен ламп типа ЛДЦ обеспечивает экономию ЭЭ на 20 %.

Не рекомендуется применять многоламповые светильники со стандартными ЛЛ из-за наличия напряженного теплового режима, приводящего к ухудшению стабильности характеристик ламп. При повышенной температуре в зоне работы ИС следует применять амальгамные ЛЛ типа ЛБА, что обеспечивает экономию ЭЭ до 25 % по сравнению с использованием в этих условиях стандартных ЛЛ.

В помещениях с тяжелыми условиями среды целесообразно использовать газоразрядные лампы высокого давления взамен ЛН, лампы-светильники типа ДРИЗ взамен ламп типа ДРЛ, щелевые световоды с лампами типа ДРЛ или ДРИЗ взамен светильников с ЛН и с ЛЛ.

Целесообразно расширить применение ламп типа НЛВД в ОУ для разрядов IVб, IVв, IVг и ниже (см. СНиП 23-05-95, табл. 1), а также при смешанном освещении для точных зрительных работ. Возможная экономия ЭЭ при этом может составить 20 — 45 %.

Применение ламп типа НЛВД пониженной мощности (210 и 360 Вт) для непосредственной замены ламп ДРЛ (250 и 400 Вт) в существующих светильниках может значительно снизить расход ЭЭ.

### 2.3 Пускорегулирующие аппараты

Обычные электромагнитные пускорегулирующие аппараты (ПРА) используются весьма широко и их целесообразно применять во многих относительно недорогих светильниках. Электромагнитными ПРА с пониженными потерями целесообразно комплектовать относительно дорогие светильники, преимущественно с зеркальными экранирующими решетками, предназначенные, в основном, для освещения административных бюро, офисов банков и других подобных помещений.

Электронные ПРА (ЭПРА) экономически целесообразно использовать в дорогих светильниках при годовом числе работы ОУ не менее 2000 ч. Их применение необходимо также в системах автоматического управления освещением.

Возможное уменьшение расхода ЭЭ за счет увеличения световой отдачи комплекта лампа + ПРА показано в табл. 2.5 и составляет для

- ПРА с пониженными потерями — 6 — 26 %
- ЭПРА — 14 — 55 %

при применении их в светильниках со стандартными ЛЛ и КЛЛ.

## 2.4 Осветительные приборы

Выбор типа осветительного прибора (ОП) должен производиться по типовым конструктивно-светотехническим схемам и эксплуатационным группам (см. табл. 2.6).

Типовые кривые силы света (КСС), являющиеся одной из основных светотехнических характеристик ОП, представлены на рис. 2.1. Эффективность использования той или иной КСС определяется соотношением  $L/H$ , где  $L$  — расстояние между ОП,  $H$  — высота расположения ОП над расчетной поверхностью. Так, кривую  $K_1$  целесообразно использовать при соотношении  $L/H = 0,3 \div 0,8$ ; кривую  $\Gamma_2$  — при  $L/H = 0,8 \div 1,2$ ; кривую  $Ш_1$  — при  $L/H = 1,2 \div 2,0$ . Примеры возможной экономии ЭЭ при использовании ОП с различными КСС, вместо диффузных ОП (тип КСС — Д) приведены в табл. 2.7.

С целью облегчения теплового режима закрытых светильников с ЛЛ целесообразно использовать специальные встраиваемые светильники, совмещенные с системами воздухораспределения в помещениях с подвесными потолками.

В закрытых уплотненных светильниках с ЛЛ целесообразно применять амальгамные лампы (типа ЛБА), световые характеристики которых в значительно меньшей степени зависят от окружающей температуры.

В светильниках для тяжелых условий среды, не имеющих отражателей, следует применять рефлекторные ЛЛ (типа ЛБР), что обеспечивает экономию ЭЭ около 20 % по сравнению с вариантом использования в этих же ОП ЛЛ типа ЛБ.

Таблица 2.5

Изменение световой отдачи комплекса лампа+ПРА с различными типами ПРА

Мощность лампы $P_{л}$ , Вт	Стандартный электромагнитный ПРА			Электромагнитный ПРА с пониженными потерями			Электронный ПРА (ЭПРА)		
	суммарная мощность комплекта $P_{\Sigma}$ , Вт	световой поток $\Phi$ , лм	световая отдача $\eta$ комплекса	суммарная мощность комплекса $P_{\Sigma}$ , Вт	световой поток $\Phi$ , лм	световая отдача $\eta$ комплекса	суммарная мощность комплекса $P_{\Sigma}$ , Вт	световой поток $\Phi$ , лм	световая отдача $\eta$ комплекса
стандартные ЛЛ									
18	29	1450	50,0	100	24	1450	60,4	120	19
2×18	23	1450	63,0	100	21	1450	69,0	110	18
36	46	3450	75,0	100	42	3450	82,1	109	36
58	71	5400	76,0	100	66	5400	81,8	107	55
компактные люминесцентные лампы (КЛЛ)									
7	14	400	28,6	100	11	400	36,3	126	9
9	15	600	40,0	100	13	600	46,1	115	12
11	16	900	56,2	100	15	900	60,0	106	14
18	29	1200	41,3	100	24	1200	50,0	121	20
24	35	1800	51,4	100	30	1800	60,0	116	27
36	46	2900	63,0	100	42	2900	69,0	109	39

Таблица 2.6

## Эксплуатационные группы светильников

Конструктивно-светотехнические схемы светильников		I	II	III	IV	V	VI	VII
с лампами накаливания и ГЛВД	A							
с люминесцентными лампами	B1							
	B2							
Группа твердости светотехнических материалов (покрытий)		T	СТ	М	Т	СТ	М	Т
Эксплуатационная группа светильников		5	4	3	6	5	4	2

## Группа твердости светотехнических материалов

Вид материала или покрытия	Материалы (или покрытия) отражателей или рассеивателей							Пропускающие свет Силикатное стекло
	Отражающие свет							
T — твердые	Покрытие силикатной эмалью							
СТ — средней твердости	1. Эпоксидно-порошковое покрытие 2. Покрытие нитроэмалью НЦ-25 3. Эмалевое покрытие МЛ-12 4. Альзак-алюминий, защищенный слоем жидкого стекла							1. Поликарбонат 2. Полиметилакрилат 3. Поливинилхлоридная жесткая пленка типа "Санлойд"
M — мягкие	1. Эмалевое покрытие МЛ-242 2. Эмалевое покрытие АК-11022 3. Покрытие акриловой эмалью 4. Алюминий, распыленный в вакууме, с защитой лаком УВЛ-3							1. Полиэтилен высокого давления 2. Полистирол

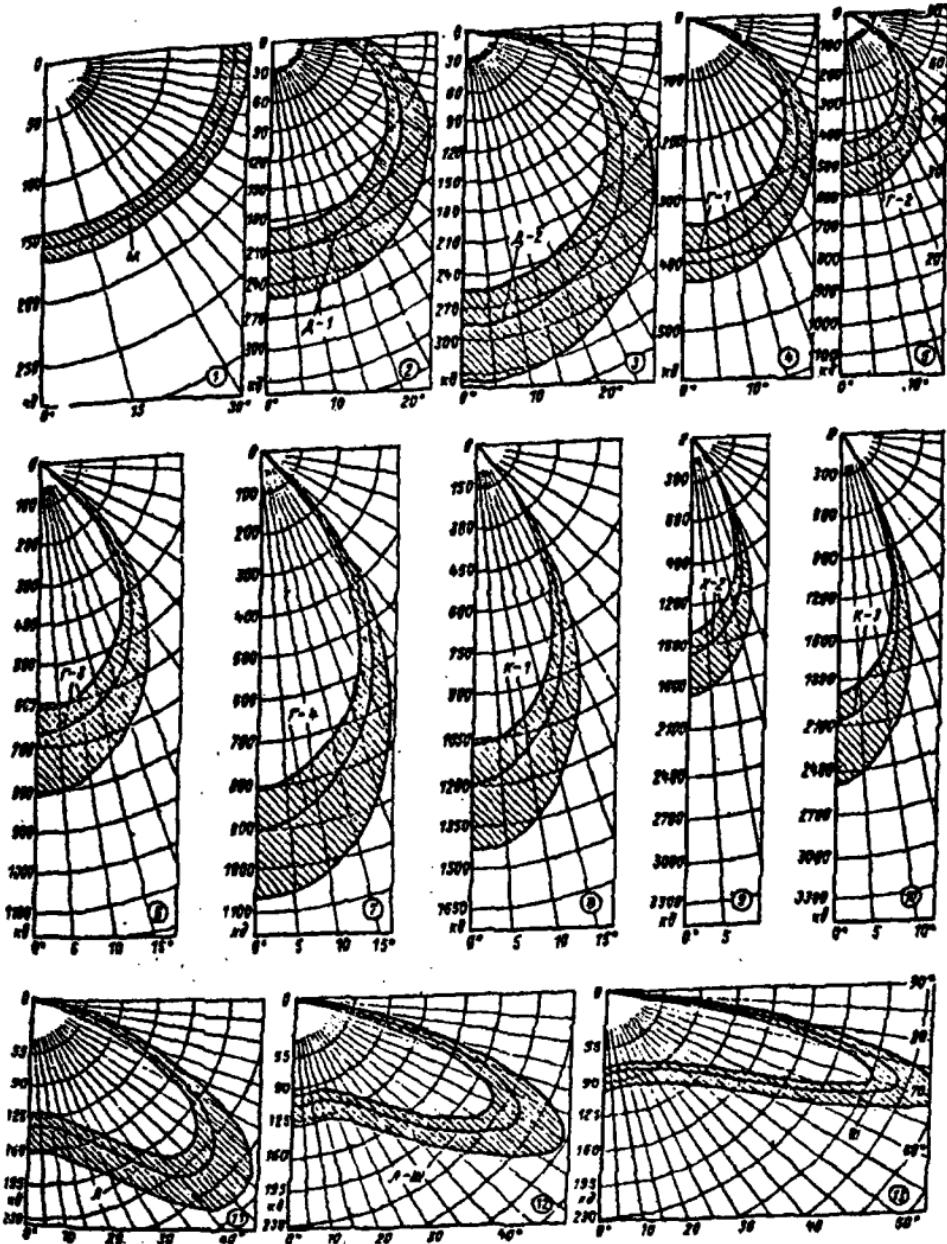


Рис. 2.1. Детализированные типовые КСС светильников и поля допусков на значения силы света ( $\Phi_{cb} = 1000$  лм)

Экономия ЭЭ при использовании ОП с эффективными КСС

Высота помещения, м	Замена ОП с КСС Д3 на ОП со следующими КСС	Экономия ЭЭ, %
5,0	Г2	14
	Г3	15
	К1	18
10,0	Г2	22
	Г3	25
	К1	28
	К2	31
15,0	Г2	26
	Г3	28
	К1	32
	К2	34
20,0	Г2	28
	Г3	32
	К1	34
	К2	40
	К3	

Во взрывоопасных, пыльных помещениях и помещениях с тяжелыми условиями среды целесообразно использовать ОУ со щелевыми световодами, что позволит получить 10-15 % экономии ЭЭ.

## 2.5 Системы освещения

Правильный выбор системы освещения на стадии проектирования ОУ является важным резервом энергосбережения.

Рекомендуемые по технико-экономическим соображениям области применения разных систем освещения приведены в табл. 2.8.

Систему комбинированного освещения целесообразно использовать при необходимости обеспечения на рабочих местах высоких уровней освещенности (500 — 4000 лк) и в тех помещениях, где площадь, приходящаяся на одно рабочее место, достаточно велика.

В помещениях с несимметричным расположением техн-

Таблица 2.8

Разряд зрительной работы (по СНиП 23-05-95, табл. 1)	Система освещения		Возможный эффект от использования вместо системы общего освещения системы комбинированного освещения, %	
	комбинированного	общего	$\Delta \mathcal{E}$	$\Delta Z$
I, IIa, IIb	Рекомендуется	Не рекомендуется	—	—
IVb, IIg	Рекомендуется при $S > 4,5 \text{ м}^2/\text{чел}$	Рекомендуется при $S \leq 4,5 \text{ м}^2/\text{чел}$	До 50	До 15
III	Рекомендуется при $S > 5 \text{ м}^2/\text{чел}$	Рекомендуется при $S \leq 5 \text{ м}^2/\text{чел}$	До 25	До 15
IVa, IVb	Рекомендуется при $S > 10 \text{ м}^2/\text{чел}$	Рекомендуется при $S \leq 10 \text{ м}^2/\text{чел}$	15 — 20	—
IVb, IVg	Не рекомендуется*	Рекомендуется	10 — 15	—

\* Для IIb, IIg, III и IV разрядов рекомендуется система комбинированного освещения независимо от  $S$  при затемнении рабочей зоны или специфических требованиях к освещению.

Примечание.  $\Delta \mathcal{E}$  — экономия ЭЭ;  $\Delta Z$  — экономия приведенных годовых затрат;  $S$  — площадь, приходящаяся на одного работающего в данном помещении.

логического оборудования и малой плотностью его размещения целесообразно применение локализованного размещения ОП общего освещения при системе общего освещения.

При наличии в одном помещении рабочих зон и вспомогательных площадей — все вспомогательные зоны следует освещать менее интенсивно, чем рабочие. Возможная экономия электроэнергии в зависимости от соотношения основных и вспомогательных площадей и нормируемой для них освещенности приведена в табл. 2.9.

Для ОУ большой мощности целесообразно использовать напряжение 660/380 В (система с глухим заземлением нейтрали, без промежуточной трансформации), включая специально пред-

Таблица 2.9 назначенные для этого ОП на напряжение 380 В.

Доля вспомогательной пло- щади от полной пло- щади помещения, %	Экономия ЭЭ, %
25	20 – 25
50	35 – 40
75	53 – 65

В ОУ, где мощность разрядных ламп высокого давления значительна (сотни и более киловатт), целесообразно применять групповые трехфазные конденсаторы, снижающие потери ЭЭ и со-

кращающие потребность в кабелях, проводах, коммутационных и защитных аппаратах для осветительных сетей.

## 2.6 Управление освещением

Системы управления освещением должны определяться в соответствии с размерами помещений и типами зданий. Системы автоматического управления (САУ) осветительными установками позволяют производить регулирование яркости ИС (ЛЛ, КЛЛ, ГЛН) от 100 % до 0 %.

Для помещений площадью более 50 м<sup>2</sup> следует применять автоматические устройства регулирования искусственного освещения в зависимости от естественной освещенности помещения.

В учебных классах, спортивных и актовых залах учебных заведений и детских дошкольных учреждений, в конструкторских бюро, а также рабочих кабинетах поликлиник и других учреждений здравоохранения следует предусматривать либо отключение светильников рядами, параллельными световым проемам, либо плавное или ступенчатое регулирование в зависимости от естественного освещения.

Освещение лестниц, холлов, коридоров общественных зданий должно иметь автоматическое или дистанционное управление, обеспечивающее отключение части светильников или ламп в ночное время с таким расчетом, чтобы освещенность в этих помещениях была не ниже норм эвакуационного освещения.

При любой системе автоматического или дистанционного управления общедомовыми помещениями должна быть предусмотрена блокировка, обеспечивающая возможность включения или отключения рабочего или эвакуационного освещения в любое

время суток из электрощитового помещения или с вводно-распределительного устройства жилых домов.

Управление рабочим освещением в торговых залах площадью 300 м<sup>2</sup> и более, в актовых залах, конференц-залах, обеденных залах столовых и ресторанов с числом рабочих мест свыше 100, вестибюлях и холлах гостиниц, а также в случаях, когда это требуется по условиям эксплуатации, должно быть централизовано дистанционным.

Для управления освещением лестниц, лифтовых холлов по-этажных коридоров, вестибюлей и других вспомогательных помещений и жилищ 1 категории по МГСН 3.01-96 "Жилые здания", местного управления рабочим освещением проходов и лестничных клеток в общественных зданиях рекомендуется, как правило, использовать системы автоматического управления освещением, в том числе с датчиками движения. Система автоматического управления в этих случаях должна быть продублирована ручным управлением освещения.

В общественных зданиях управление освещением лестничных клеток, коридоров, имеющих естественное освещение, световых указателей, входов в здание, номерных знаков, наружных витрин и световой рекламы должно быть автоматическим.

В зданиях без естественного света или с недостаточным естественным светом целесообразно использовать системы с цилиндрическими или плоскими световодами, в которые свет вводится от концентраторов солнечной энергии (гелиостатов), расположаемых на крыше или стенах зданий (или вне их). Пример реализации системы совмещенного освещения солнечным и искусственным светом на основе полых световодов показан в статье (журнал "Светотехника", № 8, 1996 г.).

Оценки возможной экономии ЭЭ при разных способах регулирования искусственного освещения даны в табл. 2.10.

## 2.7 Естественное освещение

Естественное освещение помещений должно выполняться по специальным документам:

- СНиП 23-05-95 "Естественное и искусственное освещение";
- МГСН 2.06-97 "Естественное и искусственное освещение".

Таблица 2.10

**Экономия ЭЭ путем регулирования искусственного освещения  
в зависимости от естественного**

Число рабочих смен	Вид естественного освещения в помещении	Способ регулирования искусственного освещения	Экономия ЭЭ, %
1	Верхнее	Непрерывное Ступенчатое	36 — 27 32 — 13
	Боковое	Непрерывное Ступенчатое	22 — 7 12 — 2
2	Верхнее	Непрерывное Ступенчатое	31 — 23 27 — 11
	Боковое	Непрерывное Ступенчатое	19 — 6 10 — 2

## 2.8 Эксплуатация осветительных установок

При проектировании ОУ следует вводить коэффициент запаса  $K_3$ , учитывающий снижение освещенности в процессе эксплуатации. Значения  $K_3$  для разных эксплуатационных групп светильников применительно к различным помещениям приведены в СНиП 23-05-95.

Чистку светильников следует производить согласно указаниям табл. 2.11. Обслуживание светильников должно производиться с помощью различных технических средств, отвечающих требованиям техники безопасности.

Очистка стекол световых проемов должна производиться регулярно не реже двух раз в год.

Окраска поверхностей помещений и производственного оборудования должна выполняться регулярно. Выбор цвета окраски интерьера должен производиться совместно с архитектором и светотехником. Желательно предусматривать окраску помещений в светлые тона, что повышает коэффициент использования естественного и искусственного освещения.

Система замены перегоревших ламп должна зависеть от типа применяемых источников света.

Замена перегоревших ЛЛ в ОУ может производиться 2-мя способами:

— в помещениях с числом ламп не более 60 штук — индивидуальным путем, когда одну или несколько ламп (до 5% от общего числа ламп в установке) заменяют новыми сразу же после выхода их из строя. При этом рекомендуемый интервал между двумя последовательно проводимыми осмотрами ОУ для выявления негорящих ламп составляет  $0,05\tau$ , где  $\tau$  — средний срок службы ЛЛ (см. табл. 2.2);

— в помещениях с числом ламп более 60 шт — индивидуально-групповым, когда все лампы в установке (перегоревшие и работающие) через определенный интервал времени, называемый “временем групповой замены”, одновременно заменяют новыми, а в промежутках между групповыми заменами осуществляют индивидуальную подзамену перегоревших ламп. Время групповой замены ЛЛ составляет  $0,7 - 0,8\tau$ , индивидуальную подзамену следует проводить через  $0,05\tau$ .

Замену перегоревших ЛН, ДРЛ, МГЛ и НЛВД следует производить индивидуальным способом. При этом контроль ОУ для выявления негорящих ламп следует проводить через указанные интервалы:

Таблица 2.11

Мероприятие	Экономия ЭЭ, %
<b>1. Переход на светильники с эффективными разрядными лампами (в среднем):</b>	
— использование энергоэкономичных ЛЛ	20 — 80
— использование КЛЛ (при прямой замене ЛН)	10 — 15
— переход от ламп ДРЛ на лампы ДНаТ	75 — 80
— улучшение стабильности характеристик ламп (снижение коэффициента запаса ОУ)	50
	20 — 30
<b>2. Снижение энергопотерь в ПРА:</b>	
— применение электромагнитных ПРА с пониженными потерями для ЛЛ	30 — 40
— применение электронных ПРА	70
<b>3. Применение светильников с эффективными КСС и высоким КПД:</b>	
	15 — 20
<b>4. Применение световых приборов нужного конструктивного исполнения с повышенным эксплуатационным КПД — снижение коэффициента запаса (на 0,2 — 0,35)</b>	
	25 — 45

для ЛН —  $0,1\tau$

для ДРЛ —  $0,035\tau$

для МГЛ и НЛВД —  $0,02\tau$

Значения  $\tau$  по состоянию на 1998 г. указаны в табл. 2.2.

Потенциал экономии ЭЭ при совершенствовании перечисленных средств освещения приведен в табл. 2.11.

### 3. Новая техника и экономия энергоресурсов

Особый интерес представляют собой компактные люминесцентные лампы:

- КЛЛ со встроенным ПРА и резьбовым цоколем для непосредственной замены ЛН;
- КЛЛ со специальным цоколем и отдельно устанавливаемым ПРА, предназначенные для использования в специально разработанных для них светильниках.

Основным тормозом на пути широчайшего внедрения КЛЛ со встроенным ПРА вместо ЛН является их относительно высокая цена. Вместе с тем, как показали многовариантные расчеты, выполненные во многих странах, срок окупаемости затрат на такие КЛЛ составляет в зависимости от стоимости ЭЭ, числа часов использования ламп и их цены от 1,5 до 4-х лет (см. табл. 3.1). Следует иметь в виду, что при замене ЛН на КЛЛ в существующих светильниках требуемый по нормам защитный угол может быть обеспечен лишь при использовании шестиканальных КЛЛ (в некоторых случаях и четырехканальных ламп). При этом в многорожковых люстрах возможно и очень эффективно использование вместо ЛН 40 Вт КЛЛ 7 Вт с цоколем Е14.

К преимуществам второй группы КЛЛ (с отдельно устанавливаемым ПРА) можно отнести следующее:

- стоимость КЛЛ со штырьками многократно ниже, чем стоимость КЛЛ с резьбовым цоколем;
- меньше эксплуатационные расходы (при выходе из строя заменяется только сама лампа);
- обеспечивается резкое снижение риска возврата к ЛН после выхода из строя КЛЛ, так как конструкция светильника не позволяет этого сделать.

Анализ данных зарубежных фирм показывает, что за по-

Таблица 3.1

Срок окупаемости затрат (годы) на покупку одной КЛЛ  
мощностью 20 Вт (по данным 1996 г.)\*

Ежегодная наработка, ч	Стоимость КЛЛ Доллар США	Стоимость 1 кВт·ч электроэнергии (цент)				
		1,2	2	4	6	10
1000	5	5,2	3,125	1,56	1,04	0,625
	10	10,4	6,25	3,12	2,08	1,25
	15	15,6	9,4	4,7	3,12	1,9
	20				4,16	2,5
	30					3,75
1500	5	3,47	2,08	1,04	0,7	0,54
	10	6,94	4,16	2,08	1,4	1,08
	15	6,24		6,24	2,1	1,62
	20				2,8	2,16
	30				4,2	3,24
2000	5	2,6	1,56	0,78	0,52	0,312
	10	5,2	3,12	1,56	1,04	0,62
	15		3,2	2,35	1,56	0,95
	20			3,12	2,08	1,25
	30				3,12	1,87

\*Выделены зоны со сроком окупаемости 2 года

следние 8 лет объемы производства КЛЛ выросли в 4,3 раза, при этом среднегодовые темпы прироста составляли в последний период  $17 \div 24\%$ . Особенno важно также отметить структурные изменения в выпуске КЛЛ. Если в 1990 г. почти 60% КЛЛ имели исполнение со штырьками (для независимой установки ПРА), то в 1997 г. ситуация коренным образом изменилась: около 60% в выпуске составили интегрированные КЛЛ (с резьбовым цоколем и встроенным ПРА), предназначенные для прямой замены ЛН.

Новые ЛЛ (фирмы Osram и Philips) диаметром 16 мм предназначены для работы с ЭПРА. Длина этих ламп сокращена примерно на 50 мм по сравнению с близкими по мощности ЛЛ диаметром 26 мм. Средний срок службы ламп 16 тыс. ч. Характерной особенностью является высокая стабильность светового потока этих ламп в процессе горения: спад светового потока после 10 тыс. ч. горения составляет не более 5%. Све-

Таблица 3.2

Мощность лампы, Вт	Номинальный световой поток, лм	Световая отдача, лм/Вт	Длина лампы, мм
14	1350	96	548
21	2100	100	848
28	2900	104	1148
35	3650	104	1448

тильники с этими лампами более плоские и требуют меньшего расхода материалов на их изготовление. Уменьшение длины ламп позволило создать на их базе конструкции светильников, оптимально сочетающиеся со стандартизованными модульными системами подвесных потолков. Экономия ЭЭ при использовании ламп диаметром 16 мм может достигать 25 %.

Основные параметры ламп даны в табл. 3.2.

Применение ламп диаметром 16 мм в ОУ позволит значительно снизить коэффициент запаса, закладываемый при проектировании ОУ.

Определенный интерес с точки зрения энергосбережения представляют безэлектродные высокочастотные лампы (см. статью "Безэлектродные ЛЛ" в настоящем сборнике).

#### Электронные ПРА для разрядных ламп.

Целесообразно сформулировать основные преимущества ЭПРА по сравнению с электромагнитными ПРА:

- исключение пульсации светового потока ламп и предотвращение возникновения стробоскопического эффекта;
- создание благоприятного режима зажигания ламп;
- повышение на 10 — 12 % светового потока ламп;
- повышение на 20 — 30 % срока службы ламп;
- отсутствие мигания ламп в пусковом режиме;
- уменьшение расхода ЭЭ за счет значительного сокращения суммарной потребляемой мощности.

ЭПРА работают в диапазоне частот 25 — 70 кГц.

Учитывая изложенное, можно констатировать, что в перспективе энергосберегающая техника освещения должна базироваться на основе использования ЭПРА.

Потребность в ЭПРА уже в течение последних нескольких лет возрастает ежегодно на 20 — 30 %.

Целый ряд появившихся в последние годы новых ИС уже не могут работать в схемах с обычным электромагнитным ПРА и рассчитаны на работу только с ЭПРА (например, новые линейные ЛЛ в колбах диаметрами 7 и 16 мм).

Дополнительными преимуществами ЭПРА является возможность питания постоянным током (для аварийного освещения) и возможность регулирования светового потока ИС.

Динамика роста применения ЭПРА в США и Германии приведена в табл. 3.3.

Таблица 3.3

Страна	Изделие	Масштабы применения по годам		
		1985	1990	1995
США	ЭПРА	1,5 млн.	14 млн.	30 млн.
	ЭПРА в КЛЛ	13 %	33 %	50 %
Германия	ЭПРА	—	12 % парка	25 % парка

Таблица 3.4

Пути экономии ЭЭ	Оценка возможной экономии ЭЭ, %
<u>Совершенствование средств освещения</u>	
Расширение производства эффективных ИС и области их применения	14.0
Увеличение световой отдачи ИС	6.0
Повышение стабильности характеристик ИС	3.0
Повышение КПД ОП	6.0
Улучшение эксплуатационных свойств ОП	3.5
Расширение производства ОП с эффективными КСС	3.0
Снижение энергопотребления ОП, в частности, благодаря использованию ЭПРА	1.5 — 2.0
<u>Совершенствование способов освещения</u>	
Расширение области применения системы общего локализованного освещения	6.5
Расширение применения систем комбинированного освещения	4.0

На первоначальном этапе целесообразность использования ЭПРА в отечественных светильниках связана с вопросами стоимости и окупаемости.

По результатам анализа всех разделов рекомендаций интересно сделать оценки гипотетической экономии ЭЭ, которую можно получить на вновь вводимых предприятиях с учетом прогнозируемого изменения уровня освещенности и при условии совершенствования только одного из средств или способов освещения.

Оценка возможной экономии ЭЭ приведена в табл. 3.4. Из таблицы видно, что максимальная гипотетическая экономия ЭЭ при одновременной реализации всех условий (с учетом их неполной аддитивности) может достигнуть 50 %. При этом наиболее эффективными путями являются расширение производства и области применения разрядных ламп, особенно КЛЛ. На второе место можно поставить рациональное использование естественного света и систем управления освещением.

# **Новые европейские нормы освещения**

**В.И. Петров**

Процессы интеграции стран Европы приводят к созданию системы общеевропейских норм и стандартов для различных областей техники, в том числе и норм по освещению\*.

В пакете нормативных общеевропейских документов по осветительным установкам наибольший интерес представляют нормы освещения рабочих мест, проект которых был опубликован в июне 1996 года под титулом Е DIN 5035-2: 1996-06 "Прикладная светотехника" — ч. 2: Освещение рабочих мест (Предложение для европейских норм)". В этих нормах регламентируются требования к ОУ производственных помещений и открытых площадок, а также помещений общественных зданий.

Нормы состоят из предисловия, введения, 3-х приложений и 6-и основных разделов:

1. Область применения.
2. Нормативные ссылки.
3. Определения.
4. Критерии проектирования.
5. Таблица требований к освещению.
6. Проверка параметров нормирования.

В информативных приложениях приведены, соответственно, библиография [ 1 – 8 ] и алфавитный список рабочих мест, облегчающий их поиск в нормативной таблице.

Ниже рассмотрены некоторые особенности новых норм с учетом сложившейся в нашей стране практики нормирования (включая СНиП 23-05-95/ [9]).

\* Новые европейские нормы EN по освещению разработаны техническим комитетом TC 169/WG 2 «Прикладная светотехника» Европейского комитета по нормированию — CEN. Нормы EN отражают достижения национальных стандартов и результаты работы МКО в области нормирования, расчета и проектирования ОУ. При этом в максимальной степени учтены положения немецкого стандарта DIN 5035, имеющего высокий международный авторитет.

1. Выбор уровня освещенности и коэффициента запаса.  
1.1 Нормируемые уровни освещенности определены как средние значения в пределах рабочей зоны. Эти уровни не зависят ни от типа источника света, ни от принятой системы освещения.

1.2 Уровни освещенности в зоне окружения, прилегающей к рабочей зоне (см. рис. 1), выбираются, как правило, более низкими, как показано в табл. 1.

Таблица 1

Уровни освещенности в рабочей зоне и зоне окружения

Освещенность рабочей зоны, лк	Освещенность зоны окружения, лк
750 и более	500
500	300
300	200
200 и менее	равна освещенности рабочей зоны

1.3 В каждой из зон должна быть обеспечена требуемая равномерность освещения  $E_{\min}/E_{\max}$ : не менее 0,8 в рабочей зоне и 0,5 — в зоне окружения.

1.4 С позиции СНиП для системы комбинированного освещения понятия двух зон могут быть определены как зоны действия светильников местного и общего освещения.

1.5 Нормируемые уровни освещенности даны только для конкретных рабочих мест и помещений, указанных в нормативной таблице. Эти уровни должны повышаться в случаях: необычно низкого контраста между объектом и фоном; большой цены зрительной ошибки; высокой значимости производительности зрительной работы и точности ее выполнения; пониженных способностей органа зрения работающих. Нет никаких указаний о возможности снижения нормируемой освещенности, в том числе при улучшении качества освещения, применении ламп накаливания, кратковременном пребывании людей в помещении или по другим признакам.

1.6 Уровни освещенности приведены по шкале, которую можно выявить из анализа нормативной таблицы. Эта шкала имеет следующий вид (в лк): 5, 10, 20, 30, 50, 100, 200, 300,

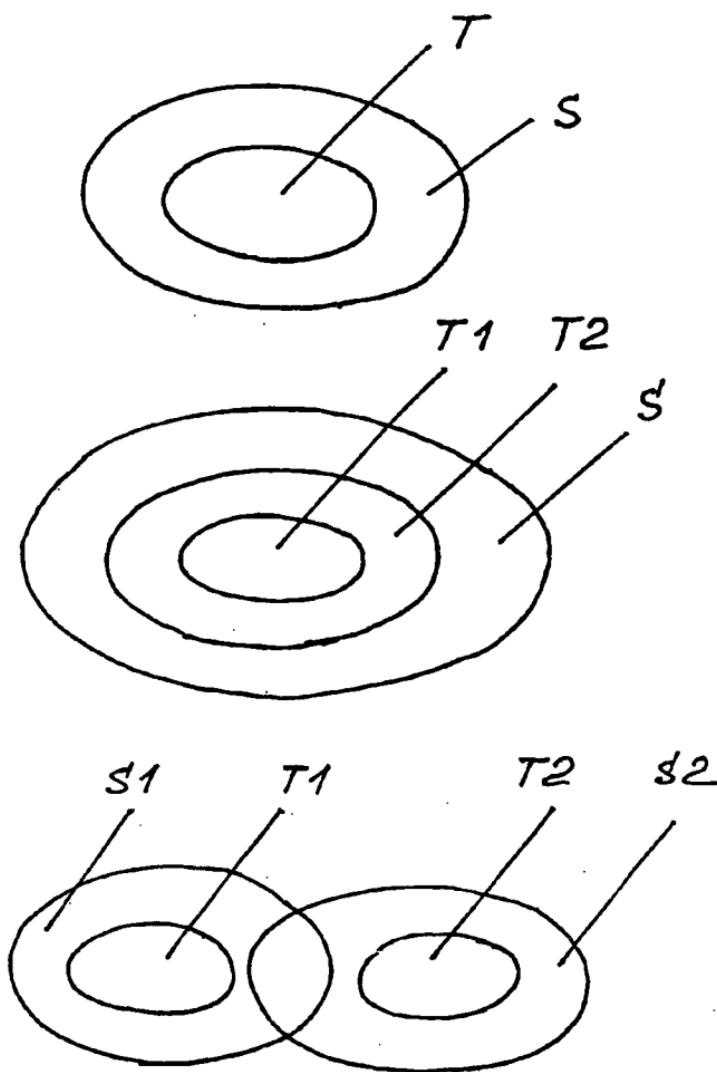


Рис. 1. Примеры расположения рабочих зон ( $T$ ) и зон окружения ( $S$ )

500, 750, 1000, 1500, 2000, 5000.

1.7 При непрерывном выполнении зрительной работы в течение длительного времени уровень освещенности на любом рабочем месте должен быть не менее 200 лк.

1.8 Нормируемый уровень освещенности должен обеспечиваться в любой момент эксплуатации ОУ, т.е. независимо от срока ее действия или состояния. Поэтому при расчете ОУ вводится фактор снижения освещенности, который зависит от характеристик спада светового потока ламп и светильников, характера окружающей среды и программы обслуживания. Этот фактор связан обратным отношением с коэффициентом запаса по СНиП.

1.9 Значения фактора снижения нормами не регламентируются. Он должен рассчитываться по отдельной методике и вместе с программой обслуживания отражаться в проекте ОУ.

1.10 Проектировщику также предоставляется большая свобода в выборе границ рабочей зоны и ее окружения, определении положения плоскости, в которой должна обеспечиваться норма освещенности, выборе методик расчета.

## 2. Ограничение прямой слепимости.

2.1 Ограничение слепящего действия ОУ проводится по методу психологической слепимости (дискомфорта), рекомендованному МКО [5]. Согласно этому методу величина обобщенного показателя дискомфорта UGR (Unified Glare Rating) определяется по формуле:

$$UGR = 8 \lg \left( \frac{0,25}{L_a} \sum \frac{L^2 \omega}{p^2} \right),$$

где  $L_a$  — яркость адаптации фона, кд/м;  $L$  — средняя яркость светящей поверхности светильника по направлению к точке наблюдения, кд/м;  $\omega$  — телесный угол, под которым видна светящая поверхность;  $p$  — индекс позиции по Гату, учитывающий положение светильника в поле зрения.

2.2 Значения UGR могут рассчитываться табличным методом (для стандартных условий наблюдения и размещения светильников) и непосредственно по формуле (для любых условий). Подробная информация по расчету UGR приведена в [5, 10].

## 2.3 Нормируемые максимально допустимые значения UGR

для стандартных условий введены в нормативную таблицу. Если расчетные (по табличному методу) значения UGR превосходят допустимые уровни, можно провести более тщательный анализ по формуле с учетом реального размещения светильников и позиции наблюдателя.

2.4 Из анализа нормативной таблицы можно выявить следующую шкалу обобщенного показателя дискомфорта UGR: 16, 19, 22, 25, 28 (отдельно шкала не приводится).

2.5 Формула UGR имеет одинаковое ядро  $\sum \frac{L^2 \omega}{p^2}$  с формулой МЭИ для расчета показателя дискомфорта  $M$ , принятого в нормах России. Это позволило найти следующую связь между этими показателями:

$$UGR = 16 \lg M - 4,8$$

Таблица 2

Взаимосвязь между показателем дискомфорта по СНиП и обобщенным показателем дискомфорта по EN

Показатель дискомфорта $M$ по СНиП	15	25	40	60	90
Обобщенный показатель дискомфорта UGR по EN	14	19	22	25	27

Таблица 3.

Взаимосвязь между классами ограничения дискомфорта (по DIN 5035) и обобщенным показателем дискомфорта (по EN)

Класс ограниче- ния дискомфор- та по DIN 5035	Нормируемый уровень освещенности, лк					
A	1000	750	500	300		
1	2000	1500	1000	750	500	300
2					2000	1000
3					2000	1000
					500	300

Обобщенный по- казатель диско- морта	13	16	19	22	25	28
--	----	----	----	----	----	----

Соотношение между показателем дискомфорта (по шкале СНиП) и значениями UGR представлено в табл. 2.

2.6 Учитывая большое распространение в международной практике светотехнического проектирования ОУ кривых предельной яркости светильников (метод Зельнера — Фишера), закрепленных в стандарте DIN 5035 для различных классов ограничения дискомфорта, в ходе разработки EN проведено со-поставление этих классов со значениями UGR (табл. 3).

3. Выбор источника света по цветовой температуре и цветопередающим свойствам.

3.1 Все источники света по цветности излучения разделены на 3 группы:

теплые ( $T_{ц} < 3300$  К);

средние ( $T_{ц} = 3300 - 5300$  К);

холодные ( $T_{ц} > 5300$  К).

3.2 В нормативной таблице в графе «Примечания» для некоторых рабочих мест приведены рекомендуемые значения  $T_{ц}$ . В странах с жарким климатом предлагается отдавать предпочтение лампам с холодной цветностью, а в северных странах — с теплым излучением. В остальном предоставляется свобода в выборе  $T_{ц}$ , исходя из соображений психологического и эстетического воздействия цветности излучения с учетом уровня освещенности и цветовой отделки поверхностей окружения.

3.3 Цветопередающие свойства источников света регламентируются по индексу цветопередачи  $R_a$ . Наименьшие допустимые значения  $R_a$  для различных рабочих мест и помещений введены в отдельную графу нормативной таблицы. Шкала значений  $R_a$ , выявленная из анализа этой таблицы, представляет собой следующий ряд значений: 20, 40, 60, 80, 90. Эта шкала в основном согласуется со стандартом DIN 5035 и слабо коррелируется со значениями  $R_a$  в СНиП. В нормах EN отдельно оговорено, что лампы с  $R_a$  менее 80, за некоторым исключением, не должны применяться внутри помещений, в которых люди работают или находятся длительное время.

4. Другие критерии проектирования освещения.

4.1 К другим критериям проектирования ОУ, которые отражены в нормах, относятся: распределение яркости, отраженная блескость, направленность освещения и моделирующий эффект, естественное освещение, энергосбережение и освещение рабочих

мест с видеотерминалами.

4.2 Распределение яркости в поле зрения поставлено на первое место среди факторов, определяющих световой климат окружения. Благоприятный баланс яркостей связывается с коэффициентами отражения поверхностей, которые рекомендуется выбирать в следующих диапазонах: для потолка — 0,6-0,9; стен — 0,3-0,8; рабочих поверхностей — 0,2-0,5. Следует обратить внимание на высокие значения верхней границы коэффициентов отражения. Они стимулируют применение новых высокоотражающих отделочных материалов, обеспечивающих значительное повышение коэффициентов использования ОУ.

4.3 Остальные критерии проектирования рассмотрены в виде определений и общих рекомендаций и не подкреплены какими-либо численными показателями. Эти критерии выделены в самостоятельные подразделы, что подчеркивает их важность в разработке концепции ОУ.

#### 5. О содержании нормативной таблицы.

Эта нормативная таблица дана в Приложении А. Она содержит свыше 280 позиций наименований помещений, рабочих мест и видов деятельности, для каждой из которых приведены нормы освещенности, обобщенного показателя дискомфорта UGR и индекса цветопередачи  $R_a$ . Для некоторых позиций даны примечания (уровень расчетной плоскости, рекомендуемая цветовая температура, необходимость устранения стробоскопического эффекта и др.).

Все объекты освещения сгруппированы по следующим разделам:

- А.1 — зоны движения и помещения общего назначения;
  - А.2 — производственные помещения (20 видов производств);
  - А.3 — административно-конторские здания, офисы;
  - А.4 — торговые предприятия;
  - А.5 — здания культурно-зрелищного назначения и отдыха;
  - А.6 — помещения учебных зданий (детские дошкольные учреждения, школы, высшие учебные заведения);
  - А.7 — помещения учреждений здравоохранения;
  - А.8 — сооружения транспорта;
  - А.9 — рабочие места на открытой территории.
- В табл. 4 даны фрагменты нормативной таблицы.

Таблица 4

## Фрагменты нормативной таблицы

А.1 Зоны движения и общего назначения внутри зданий						
№	Наименование помещения, зрительной задачи или вида деятельности	E, лк	UGR	R <sub>a</sub>	Примечания	
1	2	3	4	5	6	
1.1	Зоны движения					
1.1.1	Пути движения и коридоры	100	28	40	Освещенность на уровне пола	
1.1.2	Лестницы и эскалаторы	150	25	40		
1.1.3	Погрузочно-разгрузочные зоны	150	25	40		
1.2	Помещения для отдыха, санитарного назначения и первой помощи					
1.2.1	Буфеты	200	22	80		
1.2.2	Холлы	100	22	80		
.....						
1.2.4	Гардеробы, ..., туалеты	100	25	80		
1.2.6	Комнаты для медицинского ухода	500	16	90	T <sub>ц</sub> ≥ 4000	
1.4	Склады и холодильные камеры					
1.4.1	Кладовые	100	25	60		
1.4.2	Места упаковки	300	25	60		
1.5	Механизированные склады					
1.5.1	Проезжие пути без пешеходов	20	—	40		
1.5.2	—//— с пешеходами	200	22	60		
А.2 Производственные помещения						
2.1	Сельскохозяйственные здания					
2.1.1	Обслуживание транспортных и машин	200	25	80		
2.1.2	Стойла для животных	50	—	40		
.....						

Продолжение таблицы 4

1	2	3	4	5	6
2.4	Производство керамики, стекла и изделий из них				
2.4.1	Сушка	50	28	20	
2.4.2	Подготовка материала и общие работы на машинах	300	25	80	
.....					
2.4.5	Шлифование, гравировка, работа с деталями средних размеров	750	16	80	
2.4.6	Тонкие работы, ручная роспись	1000	16	90	
2.4.7	Изготовление и обработка искусственных драгоценных камней	1500	16	90	
2.5	Химическая и резиновая промышленность				
2.5.1	Производственные процессы с дистанционным обслуживанием	50	—	40	
.....					
2.5.3	Постоянная работа на производственных установках	300	25	80	
.....					
2.5.7	Цветовой контроль	1000	16	90	
2.5.8	Раскрой, отделка и контроль	750	19	80	
2.6	Электротехническая промышленность				
2.6.1	Изготовление кабелей и проводов	300	25	80	Учесть требования раздела 4.6.2
2.6.2	Намотка на катушки				
	— большие	300	25	80	
	— средние	500	22	80	
	— малые	750	19	80	
.....					

Продолжение таблицы 4

1	2	3	4	5	6
2.6.5	Монтажные операции				
	— грубые	300	25	80	
	— средней точности	500	22	80	
	— высокой точности	750	19	80	
	— очень тонкие	1000	16	80	
2.6.6	Производство электронной техники, испытание и контроль	1500	16	80	
2.7	Пищевая промышленность				
2.7.2	Сортировка и мойка продукции	300	25	80	
2.7.3	Рабочие места в мясоразделочных цехах, у мукоильных машин, на участках фильтрования для рафинирования сахара	500	25	80	
.....					
2.7.6	Контроль продукции, ..., сортировка и декорирование	500	22	80	
.....					
2.7.8	Цветовой контроль	1000	16	90	
2.8	Литейное производство				
2.8.6	Литейные цеха	200	25	80	
.....					
2.8.10	Литье под давлением	300	25	80	
2.8.11	Изготовление моделей	500	22	80	
2.10	Производство украшений				
2.10.1	Обработка драгоценных камней	1500	16	90	$T_u \geq 4000$
2.10.2	Изготовление украшений	1000	16	90	
2.10.3	Ручная сборка часов	1500	16	90	
2.10.4	Автоматическая сборка часов	500	19	80	

**A.3 Административно-конторские здания, бюро, офисы**

1	2	3	4	5	6
3.1	Раздевалки, проходы, зоны движения	300	19	80	
3.2	Письмо, машинопись, чтение, обработка данных	500	19	80	
3.3	Техническое черчение	750	16	80	
3.4	Рабочие места с видеотерминалом	500	19	80	Учесть рекомендации по работе с экранами дисплеев п. 4.10
3.5	Конференц-залы, переговорные	500	19	80	
3.7	Архивы	200	25	80	

**A.4 Торговые предприятия**

4.1	Торговые залы	300	22	80	Уровень освещенности и ограничение слепящего действия зависит от типа магазина
4.2	Кассовые узлы	500	19	80	
4.3	Места упаковки	500	19	80	

**A.5 Здания культурно-зрелищного назначения и отдыха**

5.1	Общие по назначению области				
5.1.1	Вестибюли и комнаты ожидания	200	22	80	UGR при возможности применения
5.1.2	Гардеробы	200	25	80	
5.1.3	Кассы, расчетные узлы	300	22	80	
5.2	Рестораны и гостиницы				
5.2.1	Стойки портье и расчетов	200	22	80	

.....

Продолжение таблицы 4

1	2	3	4	5	6
5.2.4	Столовые с самообслужива- нием	200	22	80	
5.2.5	Буфеты	300	22	80	
5.2.6	Конференц-залы	300	22	80	
5.2.7	Коридоры	100	25	80	
5.3	Театры, концертные залы, кино				
5.3.1	Артистические	300	22	80	
5.4	Залы для ярмарок и выставок				
5.4.1	Общее освещение	300	22	80	
5.5	Музеи				
5.5.1	Светостойкие экспонаты	300	—	—	Освещение должно отве- тить требова- ниям показа
5.5.2	Светочувствительные экспо- наты	—	—	—	Исключитель- но важны требования светозащиты
5.6	Библиотеки				
5.6.1	Книжные стеллажи	200	19	80	
5.6.2	Зоны чтения	500	19	80	
5.6.3	Выдача книг	500	19	80	
5.7	Гаражи				
5.7.1	Зоны въезда/выезда (днем)	200	25	20	
5.7.2	Зоны въезда/выезда (вече- ром)	50	25	20	
5.7.3	Проезжие пути	100	25	20	
5.7.4	Места парковки	50	—	20	Высокая верти- кальная осве- щенность по- вышает узна- емость лица

**A.6 Учебные здания**

1	2	3	4	5	6
6.1	Дошкольные учреждения				
6.1.1	Игровые комнаты	200	19	80	
6.1.2	Комнаты ручного труда	300	19	80	
6.2	Учебные заведения				
6.2.1	Классы дневных школ	300	19	80	Освещение должно регулироваться
.....					
6.2.3	Аудитории	500	19	80	то же
6.2.4	Доска	500	19	80	УстраниТЬ отраженную блескость
.....					
6.2.7	Класс изостудии	750	19	80	$T_u \geq 5000$
.....					
6.2.11	Учебные мастерские	500	19	80	
.....					
6.2.13	Компьютерные классы	500	19	80	Учесть п. 4.10
.....					
6.2.16	Вестибюлы, холлы	200	22	80	
6.2.17	Коридоры	100	25	80	
6.2.18	Лестницы	150	25	80	
6.2.19	Актовые залы	200	22	80	
6.2.20	Преподавательские	300	22	80	
.....					
6.2.24	Спортивные залы, бассейны	300	22	80	
6.2.25	Столовые	200	22	80	
6.2.26	Кухни	500	22	80	

**A.7 Помещения учреждений здравоохранения**

7.1	Многоцелевые помещения	Все значения освещенности на уровне пола
-----	------------------------	--

*Продолжение таблицы 4*

1	2	3	4	5	6
7.1.1	Комнаты ожидания	200	22	80	
7.2	Больничные палаты				УстраниТЬ на- личие высоких яркостей в по- ле зрения
7.2.1	Общее освещение	100	19	80	
7.2.4	Исследование и лечение	1000	19	90	Со светильни- ком местного освещения
7.2.5	Ночное освещение	5	—	80	
7.2.6	Туалеты, ванные	200	22	80	
7.4	Лаборатории				
7.4.1	Общее освещение	500	19	80	
7.5	Кабинеты окулиста				
7.5.1	Общее освещение	300	19	80	
.....					
7.5.3	Таблицы с тестами на чте- ние и цветоразличение	500	16	90	
7.10	Операционные				
7.10.1	Подготовка к операции	500	19	90	
7.10.2	Операционная, общее осве- щение	1000	19	90	
7.10.3	Операционное поле	—	—	—	10 000 — 100 000 лк со специаль- ным светильни- ком

**A.8 Аэропорты и вокзалы**

8.1	Аэропорты				
8.1.1	Залы прилета/вылета	200	22	80	
8.1.2	Зоны движения, эскалаторы, транспортные ленты	200	22	80	

1	2	3	4	5	6
8.1.3	Информационные и расчетные узлы	500	19	80	
8.1.4	Зона паспортного контроля	500	19	80	Важна вертикальная освещенность
8.2	Ж.Д. вокзалы				
8.2.1	Пути выхода к платформе	100	28	40	
8.2.2	Залы отправления	200	28	40	
8.2.3	Кассовые залы	300	19	80	
8.2.4	Залы ожидания	200	22	80	
<b>A.9 Работа на открытых площадках</b>					
9.1	Открытые установки	10	—	—	
9.11	Проезды со скоростью 30 км/ч и менее	20	—	—	
9.12	Проезды со скоростью 50 км/ч и менее	30	—	—	

## Заключение

С введением новых европейских норм по освещению во всех странах-членах СЕN соответствующие национальные стандарты упраздняются и заменяются общеевропейскими. Вместе с тем, во многом сдержанный характер норм EN оставляет достаточно широкое поле деятельности для составления различных указаний, рекомендаций и других национальных документов, дополняющих отдельные положения единых норм.

Процесс интеграции России и Европы рано или поздно приведет к необходимости по крайней мере сближения единых норм и соответствующих разделов СНиП. Отечественное нормирование, имеющее большую историю и традиции (первые Правила искусственного освещения фабрик и заводов были приняты в качестве обязательных в сентябре 1928 г. [11]), раз-

вивалось в русле наиболее значительных достижений мировой светотехники и по некоторым направлениям занимало лидирующие позиции (в разработке количественных критериев оценки пульсации освещенности и насыщенности помещений светом). Практически все нормируемые показатели освещения, приведенные в европейских нормах, фигурируют в действующем СНиП 23-05-95. С точки зрения сближения норм целесообразно на первом этапе рассмотреть следующие вопросы:

- нормирование по средней освещенности;
- нормирование освещенности независимо от типа источника света и системы освещения;
- оценка слепящего действия ОУ в помещениях промышленных и общественных зданий по объединенному показателю дискомфорта;
- согласование шкал значений освещенности и индекса цветопередачи.

## Список литературы

1. Публикация МКО 17.4: 1987, Международный светотехнический словарь.
2. Публикация МКО 29.2: 1986, Руководство по внутреннему освещению.
3. Публикация МКО 97: 1994, Обслуживание систем внутреннего электрического освещения.
4. Публикация МКО 40: 1978, Расчеты внутреннего освещения — Базисный метод.
5. Публикация МКО 117: 1995, Дискомфортная слепость в установках внутреннего освещения.
6. Публикация МКО 60: 1984, Видимость и дисплейные экраны рабочих станций.
7. ISO 8995: Principles of visual ergonomics — The lighting of indoor work systems.
8. ISO/DIS 9241 Part 6: Ergonomic requirement for office work with visual display terminals; Environment requirements.
9. СНиП 23-05-95: Естественное и искусственное освещение. 1995, «Светотехника», №№ 11, 12, стр. 2 - 30.
10. Шмитс П.В.: Обобщенный показатель дискомфорта МКО — возможности и границы применения на практике. 1997, «Светотехника», № 3, стр. 15 — 19.
11. Труды II Всесоюзной светотехнической конференции. Выпуск III. Сборник светотехнических правил, норм и условных обозначений Л. 1991, стр. 159.

# Новые люминесцентные лампы — поколение 90-х годов

В.О. Горнов

В промышленно развитых странах на долю осветительных установок (ОУ) с линейными люминесцентными лампами (ЛЛ) приходится более 70 % вырабатываемой световой энергии (лм·ч). До настоящего времени ЛЛ являются наиболее массовыми источниками света в ОУ промышленных и общественных зданий. Есть все основания полагать, что эта тенденция продолжится и в будущем.

Почти 40 лет (до второй половины 70-х годов) в светильниках общего освещения помещений использовались линейные ЛЛ в колбах диаметром 38 мм с галофосфатными люминофорами чаще всего мощностью 20, 40 и 65 Вт. У лучших образцов наиболее широко применявшимся ЛЛ мощностью 40 Вт световая отдача ( $\eta_v$ ) составляла 70 — 72 лм/Вт, срок службы ( $\tau$ ) не превышал 7000 ч, спад светового потока ( $\Phi_L$ ) в конце  $\tau$  достигал 40 %, а общий индекс цветопередачи  $R_a = 60 — 65$ .

В 1978 г. начался второй этап в развитии ЛЛ — было освоено производство энергоэкономичных ламп диаметром 26 мм на новых трехкомпонентных люминофорах (гексагональных алюминатах). У этих ЛЛ с так называемым трехполосным спектром излучения удалось повысить  $\eta_v$  до 94 лм/Вт [при работе с электромагнитными ПРА (ЭмПРА)] и приблизиться к “заветному рубежу” — 100 лм/Вт в схемах включения с электронными ПРА (ЭПРА) при одновременном улучшении качества цветопередачи ( $R_a > 80$ ) и снижении спада  $\Phi_L$  до 15 % от начального в конце  $\tau$ . Лампы диаметром 26 мм и мощностью 18, 36 и 58 Вт потребляют при работе с высокочастотными ЭПРА соответственно 16, 32 и 50 Вт; они доминируют в ОУ большинства стран Европы уже почти 20 лет.

За последние 3 — 4 года, практически уже на пороге третьего тысячелетия, мировая электроламповая промышленность усилиями своих лидеров (Philips Lighting, General Electric Lighting,

Osram, Sylvania Lighting International) достигла дальнейшего и весьма значительного прогресса в области совершенствования характеристик линейных ЛЛ массового применения:

габаритные размеры ЛЛ уменьшены как по диаметру, так и по длине, которая оптимизирована применительно к стандартизованным строительным модулям подвесных потолков;

значение  $\eta_v$  у ЛЛ нового поколения превысило 100 лм/Вт при работе в схемах с ЭПРА;

средний  $\tau$  повышен с 7—9 до 12—15 тыс. ч и более;

спад  $\Phi_L$  в конце  $\tau$  снижен с 15—20 до 5% от начального значения;

содержание ртути в ЛЛ сокращено в среднем на 80%.

Первый важный шаг на новой стадии развития линейных ЛЛ был сделан в 1994 — 1995 гг.: фирмы Philips Lighting и Osram начали серийный выпуск модификаций ЛЛ мощностью 18, 36 и 58 Вт диаметром 26 мм с резко пониженным спадом  $\Phi_L$ . Эти серии ЛЛ получили наименования: TL-D Super 80 New Generation (Philips); Lumilux Plus (Osram). Повышенная стабильность  $\Phi_L$  у ЛЛ этих серий (через 10 тыс. ч наработки световой поток снижается только на 5%) обусловлена наличием прозрачной защитной пленки между стеклом колбы и люминофором, предотвращающей преждевременную деградацию эмиссионных свойств люминофора, которая обычно вызвана негативным воздействием на него и стекло колбы лампы паров ртути. При разработке новых модификаций ЛЛ решена важная экологическая задача — за счет усовершенствования технологии дозировки ртути ее содержание снижено в 5 раз (с 15 до 3 мг в одной лампе, что достаточно для развития разряда). Во всех ЛЛ по-прежнему использованы трехкомпонентные люминофоры, но с несколько повышенной эффективностью, обеспечивающие высокий уровень качества цветопередачи ( $R_a = 85$ ) и  $\eta_v > 90$  лм/Вт.

В табл. 1 приведено сравнение значений  $\Phi_L$  и  $\eta_v$  для ЛЛ диаметром 26 мм длиной 1,2 м мощностью 36 (32) Вт и длиной 1,5 м мощностью 58 (50) Вт на различных этапах их развития за период 1978 — 1995 гг. На рис. 1 сопоставлены кривые спада  $\Phi_L$  и  $\eta_v$  за 16 тыс. ч эксплуатации у ламп старого поколения (на галофосфатных люминофорах с диаметром колбы 38 мм) и новых ЛЛ диаметром 26 мм с трехполосным

Таблица 1

**Параметры линейных ЛЛ белого света ( $T_u = 4200$  К)  
диаметром 26 мм (Philips Lighting)**

Серия, тип лампы; год начала серийно- го выпуска	Номиналь- ная мощ- ность, Вт	$\Phi_L$ , лм		$\eta_v$ , лм/вт		$R_a$
		после 100 ч, (100 %)	после 10 000 ч	после 100 ч	после 10 000 ч	
<b>T-D Standart; 1978 г.</b>						
На галоfosфатных люминофорах; схема с ЭМПРА:						
TL-D 36 W/33	36	2850	1995(70 %)	79	57	63
TL-D 58 W/33	58	4600	3220(70 %)	79	55,5	63
<b>TL-D Super 80 HF; 1985 г</b>						
На трехкомпонентных люминофорах; схема с ЭПРА:						
TL-D 32 W/840 HF	32	3200	2700(85 %)	100	85	85
TL-D 50 W/840 HF	50	5000	4250(85 %)	100	85	85
<b>TL-D Super 80 NEW Generation;</b>						
<b>TL-D Super 80 HF NEW Generation; 1995 г.</b>						
На трехкомпонентных люминофорах; схема с ЭмПРА:						
TL-D 36 W/840 NG	36	3350	3183(95 %)	93	88,4	85
TL-D 58 W/840 NG	58	5200	4940(95 %)	90	85	85
схема с ЭПРА:						
TL-D 32 W/840 NG HF	32	3200	3055(95 %)	100	95	85
TL-D 50 W/840 NG HF	50	5000	4750(95 %)	100	95	85

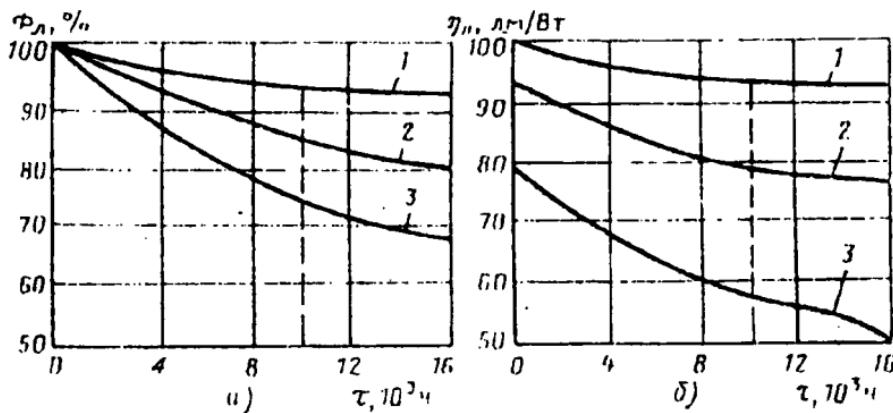


Рис. 1. Кривые спада светового потока (а) и световой отдачи (б) в течение срока службы:

1 — ЛЛ диаметром 26 мм мощностью 36 Вт новой серии TL-D Super 80 New Generation ; 2 — стандартные ЛЛ диаметром 26 мм мощностью 36 Вт с трехполосным спектром серии TL-D Super 80 HF при работе с ЭПРА; 3 — ЛЛ старого поколения диаметром 38 мм на галофосфатных люминофорах серии TL 40W Standard ( по данным Philips Lighting ).

спектром излучения.

Весомый вклад в улучшение эксплуатационных характеристик ЛЛ в колбах диаметром 26 мм с трехполосным спектром излучения внесла фирма General Electric Lighting, начав в 1995 г. производство ламп серии Polylux XL с шестью номиналами мощности от 15 до 70 Вт длиной от 450 до 1800 мм. В лампах применены более эффективные типы трехкомпонентных люминофоров с высокой стабильностью светового излучения во времени. Абсорбция ртути стеклом колбы, в обычных ЛЛ приводящая к его потемнению, ощутимо уменьшена с помощью бесцветного тонкопленочного покрытия на основе оксида алюминия, нанесенного между люминофором и стеклом трубки. Эти технологические усовершенствования дали возможность:

несколько увеличить  $\Phi_{\text{л}}$ , например у ЛЛ 18 Вт — с 1350 до 1450 лм, у ЛЛ 36 Вт — с 3350 до 3450 лм;

уменьшить спад  $\Phi_{\text{л}}$  к концу до 5% начального;

довести  $\tau$  до 15 тыс. ч при работе с электромагнитным ПРА (ЭмПРА) и до 18 тыс. ч — при работе с ЭПРА.

Такое увеличение  $\tau$  (практически в 2 раза по сравнению

с обычными значениями срока службы 9 тыс. ч. у стандартных ЛЛ) положительно сказывается на эксплуатационных расходах, особенно в крупных ОУ промышленных и общественных зданий. При реальной годовой наработке ЛЛ в производственных помещениях около 3500 ч лампы серии Polylux XL в светильниках с ЭПРА могут проработать без замены примерно 5 лет. Полный ассортимент ламп представлен в табл. 2, а преимущества этих

Таблица 2

Параметры линейных ЛЛ диаметром 26 мм серии Polylux XL (General Electric Lighting) с повышенным сроком службы и увеличенной стабильностью светового потока

$d$ , мм	$l$ , мм	$P_d$ , Вт	$\Phi_d$ , лм	$\Phi_d/l$ , лм/м	$\eta_v$ , лм/Вт	$T_d$ , К	$R_a$
26	450	15	1050	2333	70	2700	
26	600	18	1450	2416	80,5	2950	
26	900	30	2500	2777	83,3	3400	
26	1200	36	3450	2875	95,8	4000	
26	1500	58	5400	3600	93,0	6300	
26	1800	70	6550	3639	93,5		

Таблица 3

Сопоставление основных характеристик линейных ЛЛ диаметром 26 мм (General Electric Lighting)

Параметр	Тип, серия ЛЛ		
	Standard, на галофосфатных люминофорах	Polylux, на трехкомпонентных люминофорах	Polylux XL, на трехкомпонентных люминофорах с повышенным $R_a$
Начальный световой поток ( $\Phi_0$ после 100 ч), лм	1200 (18 Вт) 3000 (36 Вт) 4700 (58 Вт)	1350 (18 Вт) 3350 (36 Вт) 5200 (58 Вт)	1450 (18 Вт) 3450 (36 Вт) 5400 (58 Вт)
Световой поток в конце срока службы, % $\Phi_0$	80 после 9000 ч 9000 при работе с ЭмПРА	80 после 12 000 ч 12 000 при работе с ЭмПРА 14 000 при работе с ЭПРА	95 после 18 000 ч 15 000 при работе с ЭмПРА 18 000 при работе с ЭПРА

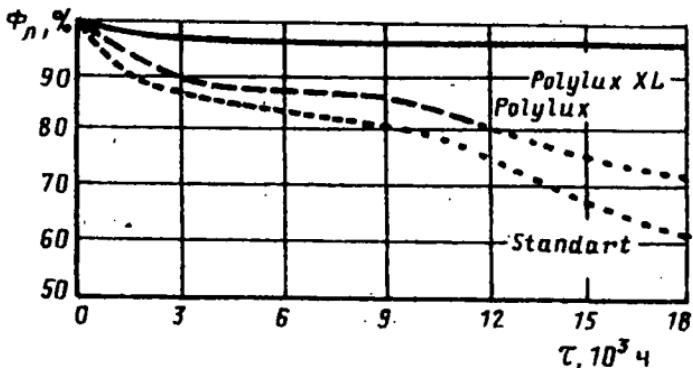


Рис. 2. Кривые спада светового потока ЛЛ диаметром 26 мм фирмы General Electric Lighting :

Polylux XL — новая серия ламп с повышенной стабильностью  $\Phi_{\text{л}}$  и увеличенным  $\tau$ ; Polylux — лампы стандартной серии на трехкомпонентных люминофорах; Standart — лампы на галоfosфатных люминофорах

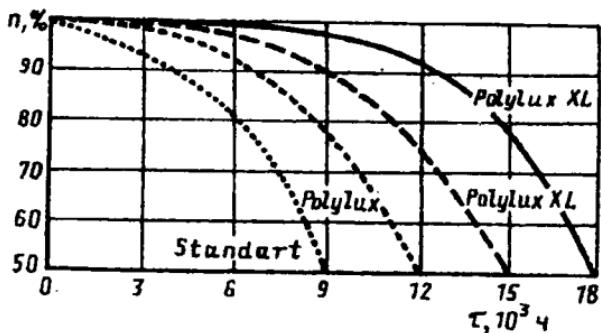


Рис. 3. Кривые выхода из строя ЛЛ диаметром 26 мм фирмы General Electric Lighting ( $n$  — доля ламп, вышедших из строя):

— при работе с ЭПРА; - - - - при работе с ЭМПРА

ЛЛ проиллюстрированы в табл. 3 и на рис. 2 и 3.

Небезынтересны и характеристики ЛЛ серии Polylux Deluxe, в которых фирма General Electric Lighting применила новую пятикомпонентную композицию люминофоров, активированных редкоземельными элементами. Лампы обеспечивают практически идеальную цветопередачу, но при неизбежной потере значения  $\eta_v$  (см. табл. 4). Срок службы ЛЛ этой серии: с ЭМПРА — 12 тыс. ч и с ЭПРА — 15 тыс. ч.

Фирма Sylvania также приступила к выпуску серии ЛЛ диаметром 26 мм с резко уменьшенным спадом  $\Phi_{\text{л}}$ . Серия Luxlin

Таблица 4

**Параметры линейных ЛЛ диаметром 26 мм серии Polylux Deluxe с улучшенным качеством цветопередачи**

<i>d</i> , мм	<i>l</i> , мм	<i>P<sub>л</sub></i> , Вт	<i>T<sub>ц</sub></i> , К	$\Phi_{л}$ , лм	$\Phi_{л}/l$ , лм/м	$\eta_{л}$ , лм/Вт	<i>R<sub>a</sub></i>
26	600	18	3000	950	1583	52,7	95
			3800	1000	1666	55,5	
26	1200	36	3000	2300	1916	63,8	95
			3800	2350	1958	65,3	
26	1500	58	3000	3600	2400	62,1	
			3800	3750	2500	64,6	

Plus включает лампы 18, 36 и 58 Вт стандартной длины и по основным параметрам аналогична лампам TL-D Super 80 NG (Philips) и Lumilux Plus (Osram).

Из других новых модификаций ЛЛ диаметром 26 мм необходимо указать на разработанные и освоенные в серийном производстве в 1996 г. фирмой Sylvania лампы Luxline Plus ES 8 с уменьшенной на 50 мм длиной в энергоэкономичном варианте (с пониженным потреблением мощности при практически неизменном  $\Phi_{л}$ ): 15 Вт длиной 550 мм (вместо 18 Вт, 600 мм) и 33 Вт длиной 1150 мм (вместо 36 Вт, 1200 мм). Эти укороченные ЛЛ позволили фирме разработать встраиваемые светильники с габаритными размерами, не превышающими размеры стандартных строительных модулей подвесных потолков.

Началом третьего, поистине революционного этапа в развитии линейных ЛЛ, можно считать 1995 — 1996 гг., когда в экспозиции Ганноверской ярмарки были впервые показаны лампы диаметром 16 мм (T5) с уменьшенной длиной, которые с полным основанием могут считаться источниками света нового поколения. Первыми из них на рынке появились ЛЛ с повышенной  $\eta_{л}$  (до 104 лм/Вт) мощностью 14, 21, 28, 35 Вт. Эти серии ламп с идентичными параметрами выпущены под следующими наименованиями:

TL'5 HE (High Efficient) — Philips Lighting;

FH (Fluorescent High Efficient) — Osram;

Power Luxline — Sylvania.

Дальнейшим шагом в развитии этих "тонких" ЛЛ был выпуск серий ламп с увеличенным единичным  $\Phi_{л}$  и повышенной яркостью:

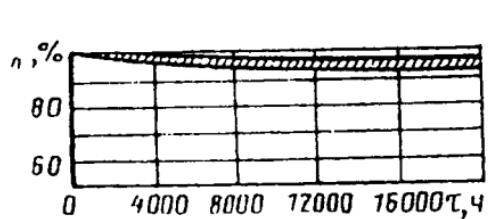


Рис. 4. Изменение светового потока ЛЛ диаметром 16 мм (серия TL'5 HE, Philips Lighting) в процессе эксплуатации

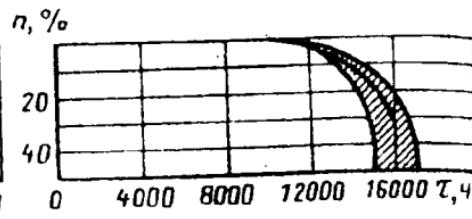


Рис. 5. Средний срок службы ЛЛ диаметром 16 мм (серия TL'5 HE, Philips Lighting),  $n$  — доля ламп, вышедших из строя

Таблица 5

**Сравнение основных характеристик ЛЛ с трехкомпонентными люминофорами и сопоставимыми значениями световых потоков: стандартных ЛЛ диаметром 26 мм и новых укороченных диаметром 16 мм**

Параметр	Тип ЛЛ	
	Стандартная TL-D36W/Super 80	Новая TL'5 HE28/W/Super 80pHF
	диаметр — 26 мм, длина — 1200 мм	диаметр — 16 мм, длина — 1149 мм
$P_{\text{Л}}$ , Вт	36	28
$P_{\text{ПРА}}$ , Вт	8 (ЭмПРА)	5 (ЭПРА)
$P_{\text{Л+ПРА}}$ , Вт	44	
$\Phi_{\text{Л}}$ , лм		
после 100 ч	3250 (100 %)	2900 (100 %)
после 10 000 ч	2760 (85 %)	2770 (95 %)
$\eta_{\text{Л}}$ , лм/Вт		
после 100 ч	90 (100 %)	104 (100 %)
после 10 000 ч	77 (85 %)	99 (95 %)
Лампа+ПРА		
после 100 ч	74 (100 %)	88 (100 %)
после 10 000 ч	63 (85 %)	84 (95 %)

TL'5 HO (High Output) [Philips Lighting] мощностью 24, 39, 49, 54 Вт;

FQ (Fluorescent Quinton) [Osram] мощностью 24, 39, 54, 80 Вт.

Лампы всех этих серий включаются и работают только со специально разработанными для них ЭПРА, они снабжены двухштырьковым цоколем типа G-5 и обладают всеми достоинствами, свойственными ЛЛ диаметром 26 мм на трехкомпонентных люминофорах, превосходя их однако по значению  $\eta_v$ , среднему  $t$ , который при 3-часовом цикле включений составляет 16 тыс. ч, а также и по стабильности  $\Phi_L$  (см. рис. 4, 5 и табл. 5). Основные параметры ЛЛ в колбах диаметром 16 мм фирм Philips Lighting и Osram представлены в табл. 6, параметры ЭПРА — в табл. 7; параметры ЛЛ диаметром 26 мм стандартного ряда для сравнения приведены в табл. 8. Как и все ЛЛ с трехполосным спектром, новые "тонкие" ЛЛ обеспечивают высокое качество цветопередачи ( $R_a = 85$ ) и имеют достаточно широкую гамму излучения: от тепло-белого ( $T_{ц} = 2700$  К) до дневного (5500 К). Содержание ртути в лампах не превышает 3 мг.

Что же еще отличает новое поколение "тонких" ЛЛ от их предшественников — ламп диаметром 26 мм, каковы преимущества и перспективы применения ЛЛ диаметром 16 мм?

Таблица 6

Параметры новых линейных ЛЛ диаметром 16 мм (T5)  
фирм Philips и Osram

$d$ , мм	$l$ , мм	$P_{л}$ , Вт	$\Phi_L$ , лм	$\Phi_L/l$ , лм/м	$\eta_v$ , лм/Вт	$L$ , ккд/м
16	549	14*	1350	2460	96	17
		24**	2000	3640	89	25
16	849	21*	2100	2470	100	17
		39**	3500	4123	90	28
16	1149	28*	2900	2523	104	17
		54**	5000	4350	93	29
16	1449	35*	3650	2518	104	17
		49**	5000	3450	102	23
		80**	7500	5175	94	34,5

\* Серия TL'5 HE (Philips) и FH (Osram).

\*\* Серия TL'5 HO (Philips) и FQ (Osram).

**Электронные ПРА серии HF-Performer\* для новых линейных ЛЛ диаметром 16 мм (T5)**

Мощность ЛЛ	Тип адаптера	Потери, Вт	Габариты, мм		
			длина	ширина	высота
<b>Одноламповые ЭПРА</b>					
14	HF-P 114TL5 HE	2	280	30	28
21	HF-P 121TL5 HE	3	280	30	28
28	HF-P 128TL5 HE	5	335	39	28
35	HF-P 135TL5 HE	5	335	39	28
24	HF-P 124TL5 HO	4	360	30	28
39	HF-P 139TL5 HO	5	425	30	28
49	HF-P 149TL5 HO	6	360	30	28
54	HF-P 154TL5 HO	6	450	30	28
<b>Двухламповые ЭПРА</b>					
2 × 14	HF-P 214TL5 HE	3	360	30	28
2 × 21	HF-P 221TL5 HE	4	360	30	28
2 × 28	HF-P 228TL5 HE	10	425	39	28
2 × 35	HF-P 235TL5 HE	10	425	39	28
2 × 39	HF-P 239TL5 HO	10	425	30	28
2 × 49	HF-P 249TL5 HO	12	425	39	28
2 × 54	HF-P 254TL5 HO	12	425	30	28
<b>Многоламповые ЭПРА</b>					
3 × 14	HF-P 314TL5 HE	10	425	39	28
4 × 14	HF-P 414TL5 HE	10	425	39	28

\* Серийный выпуск начат Philips Lighting в 1996 — 1997 гг.

Сокращение диаметра колб новых ЛЛ на 40 % дает возможность более эффективно использовать их с зеркальными отражателями и экранирующими решетками, уменьшить высоту светильников, снизить расход всех исходных материалов при производстве как самих ЛЛ, так и светильников. При этом обеспечивается более рациональное использование складских помещений, уменьшаются расходы на упаковочные материалы и утилизацию отработавших ламп.

Уменьшение длины новых ЛЛ на 50 мм (по сравнению

Параметры стандартных линейных ЛЛ диаметром 26 мм (T8)  
с трехполосным спектром\*

<i>d</i> , мм	<i>l</i> , мм	<i>P<sub>л</sub></i> , Вт	<i>Φ<sub>л</sub></i> , лм	<i>Φ<sub>л</sub>/l</i> , лм/м	<i>η<sub>л</sub></i> , лм/Вт	<i>L</i> , ккд/м <sup>3</sup>
26	600	18	1350	2250	75	10
26	900	30	2500	2777	83,3	12
26	1200	36	3350	2791	93	13
26	1500	58	5200	3466	90	15

\* Серия Lumilux (Osram) и TL-D Super 80 (Philips)

со стандартными размерами ламп диаметром 26 мм) позволило создать на их базе конструкции встраиваемых светильников, оптимально сочетающихся со стандартными системами подвесных потолков (модули 600, 625, 12M). Габаритные размеры новых светильников не превышают размеров модульных плит заполнения потолков, их монтаж значительно упрощен, так как отсутствуют торцевые отсеки для размещения патронов ЛЛ, выступающие за основной размер корпуса.

Многие европейские фирмы уже производят светильники с новыми ЛЛ и зеркальными оптическими системами. У встраиваемых и потолочных светильников КПД не менее 75 %, у подвесных — до 87 %. Если высота корпусов потолочных и встраиваемых светильников с лампами диаметром 26 мм обычно лежит в пределах от 80 до 105 мм, то светильники с новыми ЛЛ отличаются резко сниженной высотой: от 55 до 62 мм. Светильники самой последней серии TBS 635 с тремя ЛЛ по 14 Вт (Philips Lighting) имеют рекордно малую высоту встраиваемого в подвесной потолок корпуса — 45 мм (!).

При конструировании и применении новых светильников важно учесть, что у ламп диаметром 16 мм максимум  $\Phi_{л}$  сдвинут в область более высоких температур: +(30 — 35) °С.

“Холодная” точка, определяющая оптимальное давление паров ртути, находится между одним из цоколей и смежным электродным узлом. ЭПРА обеспечивают надежное зажигание ЛЛ диаметром 16 мм в широком диапазоне окружающей температуры: от — 10 до +50 °С.

Первые ОУ, оборудованные новыми светильниками с ЛЛ

диаметром 16 мм, доказали их большую экономичность по сравнению с системами освещения, использующими ЛЛ диаметром 26 мм: экономия электроэнергии достигает 25 % и более. Причины очевидны: пониженное потребление мощности "тонкими" ЛЛ, их высокая  $\eta_v$ , малые потери ЭПРА (в одноламповых светильниках от 2 до 6 Вт), большой КПД светильников.

Расчетные оценки и реализованные проекты ОУ показали, что для достижения средней освещенности 500 лк в административных бюро со стандартными высотами (2,5 — 3,5 м) при использовании новых высокоэффективных светильников с ЛЛ диаметром 16 мм необходима удельная мощность освещения не более 10 Вт/м<sup>2</sup>.

Еще недавно считалось, что при высоте производственных помещений более 5 м в ОУ нужно использовать светильники с разрядными лампами ВД (например, с ДРЛ). Теперь же, с появлением трех и четырехламповых светильников с новыми ЛЛ диаметром 16 мм мощностью 49, 54, 80 Вт ( $\Phi_L = 5000 — 7500$  лм) эта рекомендация теряет силу.

Анализ показал, что новые светильники с ЛЛ экономически эффективны для применения в ОУ помещений промышленных зданий с высотами до 12 — 14 м, при этом удельная мощность может не превысить 3,5 — 4 (Вт/м<sup>2</sup>)/100 лк, когда используются светильники 4×49 Вт или 4×54 Вт с суммарным  $\Phi_L = 20\,000$  лм и КПД более 70 %.

В целом новое поколение светильников на базе ЛЛ диаметром 16 мм с ЭПРА квалифицируется экспертами как изделия высоких светотехнических технологий XXI века. По прогнозам они могут занять в будущем столетии ключевые позиции в технике освещения общественных и промышленных зданий.

Еще целый ряд интересных разработок различных типов ЛЛ появился в номенклатуре серийных изделий ведущих электроламповых производителей в 90-х годах.

Недавно Sylvania, а затем и Osram начали выпуск "супертонких" линейных ЛЛ диаметром 7 мм (тип колбы T2) с цоколем W4.3, работающих только со специальными ЭПРА, частота рабочего тока которых равна 40 кГц. Серия включает лампы мощностью от 6 до 13 Вт длиной, соответственно, от 218 до 523 мм и  $\eta_v = 55 — 71$  лм/Вт (см. табл. 9). Основные области применения этих ЛЛ серии FM (Fluorescent Miniatur): освещение витрин магазинов и музеев, стеллажей, встраивание

## Параметры новых линейных ЛЛ серии FM диаметром 7 мм (T2)

<i>d</i> , мм	<i>l</i> , мм	<i>P<sub>л</sub></i> , Вт	<i>Φ<sub>л</sub></i> , лм	<i>Φ<sub>л</sub>/l</i> , лм/м	<i>η<sub>в</sub></i> , лм/Вт
7	218	6	330	1513	55
7	320	8	540	1687	67,5
7	420	11	750	1785	68
7	523	13	930	1778	71,5

в предметы корпусной мебели, установка в новых светильниках с минимизированным поперечным сечением ( $32 \times 16$  мм).

Весьма эффективны для использования в различных областях осветительной и светорекламной техники две новые серии линейных "рефлекторных" ЛЛ на трехкомпонентных люминофорах, выпускаемые фирмой Philips Lighting: TL-D "Reflex" (диаметр 26 мм, мощность 18, 36 и 58 Вт) и TL-miniature T5 "Reflex" (диаметр 16 мм, мощность 6, 8 и 13 Вт). Внутренний отражающий слой на базе диоксида титана размещен между люминофором и трубкой колбы в угловой зоне  $200^\circ$  (в поперечном сечении). Через выходную щель с угловым размером  $160^\circ$ , в которой нанесен только люминофор, излучается более 80 % от  $\Phi_{\text{л}}$ . Повышенная яркость выходной щели обусловливает увеличение силы света в направлении, перпендикулярном оси ЛЛ, на 70 % по сравнению с обычными лампами. Ориентация плоскости штырьков цоколей у этих ЛЛ может быть двойкой: параллельной или перпендикулярной по отношению к условной плоскости выходной щели. Новые "рефлекторные" лампы выпускаются тепло-белого, белого и дневного света ( $T_{\text{ц}} = 3000, 4200, 5500$  К) и обеспечивают высокий уровень цветопередачи с  $R_a > 80$ .

Нельзя не упомянуть одну из последних новинок в ассортименте фирмы Osram, впервые представленную ею в 1997 г. — серию FC (Fluoreszent Circline) кольцевых ЛЛ в трубках диаметром 16 мм, которые отличаются от стандартных кольцевых ЛЛ большей мощностью, увеличенным  $\Phi_{\text{л}}$  и повышенным  $\tau$ . В табл. 10 и 11 сравнены основные параметры новых (FC) и стандартных кольцевых ЛЛ в трубках диаметром 30 мм. Новые "тонкие" кольцевые ЛЛ также, как и новые линейные

Таблица 10

**Новая серия FC кольцевых ЛЛ с диаметром разрядной трубы 16 мм  
(фирма Osram)**

$P_{\text{л}}, \text{ Вт}$	$\Phi_{\text{л}}, \text{ лм}$	$D_{\text{н}}, \text{ мм}$	$d_{\text{т}}, \text{ мм}$	$L_{\text{ср}}, \text{ ккд}/\text{м}^3$
24	1900	225	16	21
39	3300	300	16	24
54	4500	300	16	33

Таблица 11

**Стандартная серия кольцевых ЛЛ с диаметром разрядной трубы 30 мм**

$P_{\text{л}}, \text{ Вт}$	$\Phi_{\text{л}}, \text{ лм}$	$D_{\text{н}}, \text{ мм}$	$d_{\text{т}}, \text{ мм}$
22	1350	216	30
32	2050	307	30
40	2900	410	30

ЛЛ диаметром 16 мм, могут включаться только в схемы со специальными ЭПРА; на базе этих ламп могут быть созданы существенно уменьшенные по высоте потолочные и встраиваемые светильники для освещения общественных зданий.

Из разрядных источников света для специфических областей применения выделяются созданные фирмой Philips Lighting в 1995 г. сверхтонкие (диаметром 2,8 и 5,1 мм) ЛЛ с холодными электродами мощностью от 1 до 10 Вт, имеющие чрезвычайно высокую яркость ( $50 \text{ ккд}/\text{м}^2$ ) и очень большой  $\tau$ , равный 100 тыс. ч, чему способствует запатентованная конструкция катодов (серия названа Longlife). Лампы прямой и фигурной формы (S-, L-, U-, M-образные) имеют длину от 150 до 1000 мм и предназначены специально для использования в цветных сканерах и для подсветки дисплеев на жидкокристаллических экранах; работают эти ЛЛ только с ЭПРА.

Дополнительные сведения о прямолинейных люминесцентных лампах нового поколения могут быть получены из статей:

1. **Новые источники света на Ганноверской ярмарке 1995 г. "Светотехника".** 1995, № 9, с. 24;

2. **Новое поколение тонких люминесцентных ламп (диаметром 16 мм) и проблемы их эффективного использования.** "Светотехника", 1997, № 1, с. 13.

# Безэлектродные люминесцентные лампы

В.О. Горнов

В истории развития средств искусственного освещения 90-е годы уходящего столетия, кроме интенсивного развития линейных и компактных люминесцентных ламп, ознаменованы появлением на светотехническом рынке трех принципиально различных по конструкции типов безэлектродных индукционных ламп (БИЛ) с люминофором: QL (Philips, 1991 г.); Genura R 80 (General Electric Lighting, 1994 г.); Endura (Osram, 1997 г.).

Впервые идея использования высокочастотного электромагнитного поля для возбуждения излучающего разряда в газе была высказана Н. Тесла\* в 1891 г. Однако практически осуществить ее удалось только через 100 лет, когда высокий уровень технологий в области светотехнической электроники и химии люминофоров позволил создать промышленные образцы люминесцентных БИЛ на базе ртутного разряда в электромагнитном поле высокой частоты.

В 1991 г. фирма Philips Lighting B.V. сообщила о начале серийного выпуска на своем головном заводе в Эйндховене (Нидерланды) первой в мире БИЛ мощностью 85 Вт; лампы этого типа получили наименование QL (Quality Lighting). В 1993 г. было освоено производство аналогичной БИЛ мощностью 55 Вт. Принцип генерации светового излучения в БИЛ и конструктивная схема ламп QL представлены на рис. 1, общий вид и габариты — на рис. 2, а основные характеристики приведены в табл. 1.

\*\* Никола Тесла (1856 — 1943), инженер-изобретатель в области электротехники и радиотехники, с 1884 г. работавший в США. Впервые описал явление врачающегося магнитного поля, разработал многофазные электрические машины; «пионер» высокочастотной техники, исследовал возможность беспроводной передачи электрических сигналов и энергии.

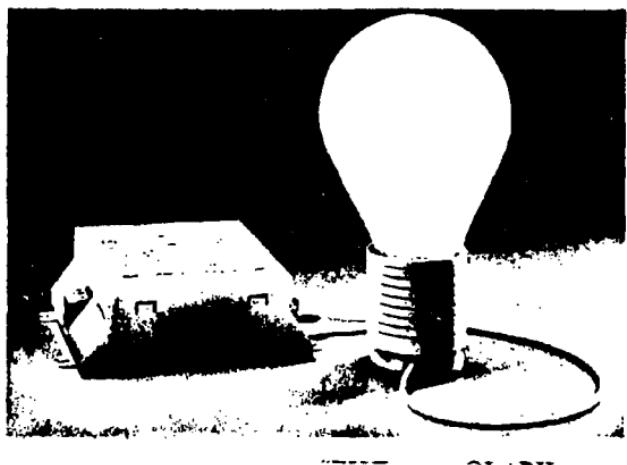


Рис. 1. Общий вид комплекта “БИЛ типа QL+ВЧ-генератор”

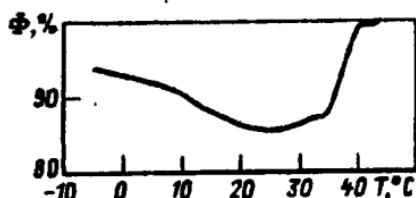


Рис. 2. Зависимость светового потока БИЛ типа QL от температуры окружающего воздуха

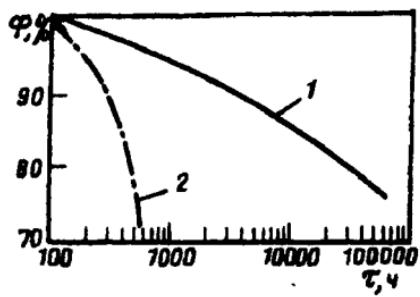


Рис. 3. Зависимость светового потока БИЛ типа QL в процессе горения:  
1 — с защитной пленкой; 2 — без защитной пленки

Таблица 1

## Характеристики безэлектродных индукционных ламп типа QL

Мощность, потребляемая комплексом "лампа+ПРА", Вт	55	85
Световой поток, лм	3500	6000
Световая отдача, лм/Вт	64	71
Средняя яркость, ккд/м <sup>2</sup>	15	15
Коррелированная цветовая температура излучения, К	2700	2700
Общий индекс цветопередачи, $R_a$	> 80	> 80
Средний срок службы, ч	60 000	60 000
Габариты, мм:		
лампа	$D = 90, H = 165$	$D = 110, H = 192$
ПРА	$130 \times 130 \times 45$	$130 \times 130 \times 45$
Параметры питающей сети:		
напряжение, В	220 — 240	220 — 240
частота, Гц	50/60	50/60
Коэффициент мощности комплекта "лампа+ПРА", ( $\cos \varphi$ )	> 0,85	> 0,85
Время зажигания и перезажигания, с	0,5	0,5
Рабочий диапазон температур, °C	-20 ÷ + 65	-20 ÷ + 65

Колба ламп QL по форме и габаритам близка к колбам лампам накаливания общего назначения мощностью 200 — 300 Вт. Питание осуществляется от выносного электронного ПРА (ВЧ-генератора), соединенного отрезком экранированного кабеля длиной 400 мм с соленоидным индуктором на ферритовом сердечнике, который размещен внутри колбы. Индуктор под действием генератора создает в колбе высокочастотное электромагнитное поле (2,65 МГц), инициирующее в молекулярных парах ртути и инертного газа выход резонансного УФ-излучения, воздействующего на люминофорное покрытие (трехкомпонентная смесь гексагональных алюминатов, активированных редкоземельными элементами).

Эти люминофоры, широко применяемые в линейных и компактных люминесцентных лампах, обеспечивают высокое качество цветопередачи и у ламп типа QL, которые сейчас выпускаются двух оттенков тепло-белого света с  $T_{ц} = 2700$  и  $3000$  К и нейтрально-белого света с  $T_{ц} = 4000$  К.

Лампы рассчитаны на питание от сети  $220 - 240$  В,  $50$  Гц; допустимые отклонения: напряжения — от  $185$  до  $255$  В, частоты — от  $47$  до  $63$  Гц.

Надежное зажигание ламп QL гарантировано при низких температурах воздуха (до минус  $20^{\circ}\text{C}$ ), при положительных температурах лампы зажигаются и перезажигаются практически мгновенно.

Давление ртутных паров регулируется амальгамой, размещенной в двух зонах колбы (рис. 1). Температурная зависимость светового потока ламп QL проиллюстрирована на рис. 2.

Необходимо отметить, что данные БИЛ, являющиеся высокочастотным излучателем, за счет удачно решенной проблемы экранировки не создают помех для работы радио- и виде аппарата, высокочувствительных электронных медицинских приборов и удовлетворяют требованиям к ограничению допустимых уровней электромагнитных помех (EMC-Electro Magnetic Compatibility), регламентируемому новыми Европейскими нормами EN 60555/2 и EN 55015.

Основное достоинство БИЛ типа QL — чрезвычайно большой срок службы  $\tau = 60\,000$  ч, не достигнутый пока ни у одного из источников света массового применения. Указанная величина обусловлена у БИЛ типа QL отсутствием традиционных для разрядных ламп термоэмиссионных катодов и практически определяется ресурсом электронных компонентов ПРА — генератора ВЧ. Кроме того, люминофор и стекло предохраняются от ртутного загрязнения бесцветным защитным покрытием, нанесенным между слоем люминофора и внутренней поверхностью колбы. Это покрытие способствует тому, что спад светового потока ( $\Phi_{л}$ ) после  $10$  тыс. ч наработка не превышает  $15\%$ , а к  $60$  тыс. ч — менее  $25\%$  (рис. 3); процентная доля ламп QL, выходящих из строя в конце  $\tau$  в крупных ОУ, составляет не более  $20\%$ .

Благодаря необычно большому  $\tau$  лампы QL являются идеальным источником света для осветительных установок со зна-

чительной годовой наработкой и для ОУ, в которых светильники размещены на высотах и в зонах, труднодоступных для обслуживания.

При круглосуточном режиме горения, например, в цехах с непрерывным технологическим процессом производства, лампы QL могут проработать в ОУ без замены до 7 лет, в установках наружного освещения городов при типовой для европейских широт наработке уличных светильников (4000 ч/год) периодичность замены может достигать 12 — 15 лет.

Philips Lighting и ряд других фирм разработали и освоили выпуск нескольких функциональных и декоративных светильников наружного и внутреннего освещения с БИЛ типа QL\*, которые в последние 5 — 6 лет применены в значительном количестве ОУ в различных регионах мира (в странах Западной и Восточной Европы, в Египте, Японии, Сингапуре, Гонконге).

Первым городом, где фирма Philips Lighting опробовала новые источники света в наружных ОУ, стал Париж: после успешного применения ламп QL 85 Вт на одной из площадей в венчающих светильниках, стилизованных под газовые фонари, они были использованы для освещения пешеходной части Елисейских полей.

Весьма активно БИЛ типа QL внедрялись в установки наружного освещения городов скандинавских стран и Нидерландов (крупномасштабная реконструкция ОУ в центре Гааги, новые ОУ в Стокгольме, Осло, Хельсинки, освещение территории университетского городка в датском городе Роскильде).

Интересен и первый опыт применения ламп QL 55 Вт в осветительных устройствах с полыми протяженными световодами: они использованы в парапетной системе освещения пешеходных и велосипедных дорожек по обе стороны нового моста Korreborg в Гронингене (Нидерланды)\*\*.

В холле здания компании Fabrimetal (Антверпен, Бельгия) установлены напольные светильники отраженного света с QL 85 Вт (модель Kreon). Встраиваемый светильник типа KCS 101/085 (Philips) с этой же БИЛ применен в банке кантона

\* См. Сборник докладов на 8-й Европейской светотехнической конференции "LUX EUROPA 1997", с. 611 — 618; p.j.m. Van der Burgt, j.t.c. Kemenade, H.C.G. Verhaar, Applications and opportunities of QL-induction lamps.

\*\*International Lighting Rev., 1994, № 3, с. 104 — 105.

Ааргау (Швейцария). Высота встроенной части корпуса — 252 мм, диаметр — 245 мм; в выходном отверстии расположен чашевидный рассеиватель диаметром 263 мм, высотой 63 мм; габариты корпуса ПРА, пристроенного к корпусу сбоку в технической полости, 242 × 172 × 68 мм. При угле излучения 2 × 45° светильник создает на расстоянии 4 мм в пятне диаметром 8 м среднюю освещенность 48 лк (максимальная — 93, минимальная — 17 лк).

Энергетическая эффективность ламп QL применительно к ОУ общего освещения помещений общественных зданий проиллюстрирована данными табл. 2, где представлены для сравнения альтернативные варианты встраиваемых (потолочных) светильников прямого света, укомплектованных различными современными разрядными источниками света с сопоставимыми

Таблица 2

Источник света			Светильник			
Тип	Мощность, ( $P_{л}$ ), Вт	Световой поток ( $\Phi_{л}$ ), лм	Количество и мощность ламп, шт × Вт	Суммарный световой поток ламп ( $\sum \Phi_{л}$ )	Мощность, потребляемая лампами и ПРА ( $(\sum P_{л} + P_{ПРА})$ , Вт)	$\frac{\sum \Phi_{л}}{\sum P_{л} + P_{ПРА}}$ , лм/Вт
Индукционная лампа QL	85	6000	1 × 85	6000	85	71
Компактная ЛЛ (6-канальная)	42	3200	2 × 42	6400	92 (84+8)	69,5
Компактная ЛЛ (4-канальная)	26	1800	3 × 26	5400	96 (78+18)	56,2
Металлогалогенная лампа	70	5500	1 × 70	5500	80 (70+10)	68,7

величинами суммарных световых потоков.

Фирма Philips Lighting продолжает работы в области БИЛ. Для североамериканского рынка создано исполнение лампы QL 85 Вт на номинальное напряжение 120 В — стандарт осветительных сетей в США и Канаде. В экспозиции Ганноверской ярмарки 1997 г. показана третья модификация ламп QL мощностью 165 Вт со световым потоком 12 000 лм и габаритами  $D = 130$  мм,  $H = 215$  мм (ее серийный выпуск намечался на 1998 г.).

Последние усовершенствования в конструкции ламп 55 и 85 Вт таковы: повышена вибростойкость; новый цоколь облегчает монтаж и замену БИЛ в осветительных приборах; объем ПРА — генератора ВЧ сокращен на 30 % (длина и ширина корпуса уменьшены на 25 %, а высота — на 10 %).

Приводимый ниже перечень наиболее интересных ОУ, выполненных в 1991 — 1997 гг. с применением БИЛ типа QL мощностью 55 и 85 Вт, не оставляет места для сомнений относительно перспектив этого источника света в технике внутреннего и наружного освещения:

Пешеходная зона на Елисейских полях и площадь Place du Terte в Париже;

Подсветка циферблатов часов на башне Big Ben Вестминстерского дворца (Лондон);

Площадь и пешеходные зоны в Гааге (Нидерланды);  
Туннель Flonzaley на автостраде du Leman между городами Vevey и Montreux (Швейцария);

Территория выставочного комплекса в Хельсинки;  
Ландшафт «Японского сада» в Хассельте (Бельгия);

Палата лордов в Парламенте Великобритании;  
Национальный Вестминстерский банк (Лондон);

Торговый центр La Vaguada (Мадрид);

Торговый центр L'Illa Diagonal (Барселона);

Лондонский культурный центр (Barbican Arts Centre);

Цюрихский кантональный банк;

Пассажирские терминалы аэропортов: Norway's Kjevik (Кристиансанд, Норвегия), Chandi (Сингапур), Schwechat (Вена), Konrad Adenauer (Кельн/Бонн);

Спортивный зал в военном институте Сингапура;

Плавательный бассейн в Стокгольме;

Аудитория в колледже Neath College (West Glamorgan, Великобритания);

Пивоваренный завод польской компании Elbrewery Co;

Шоколадная фабрика шведской кондитерской фирмы AB Marabou (Upplands Vaesby, близ Стокгольма);

Выставочный автомобильный салон Lexus (Tolworth, близ Лондона);

Магазины торговой группы Schaulandt в Гамбурге и Мюльхайме (Германия);

Вокзал для высокоскоростного железнодорожного экспресса South Eurostar (Брюссель).

Кроме того, БИЛ типа QL использованы в ряде городов разных стран для внутренней подсветки эмблем-логотипов ресторанов компании Mc Donalds, в светосигнальных приборах охранного ограждения высоких сооружений (на опорах высоковольтных линий передачи электроэнергии, на морских нефтедобывающих платформах, на крышах небоскребов).

На том же принципе, что и лампы типа QL, функционирует компактная БИЛ под фирмой Genura, разработанная и впервые представленная на светотехнический рынок в 1994 г. GE-Lighting — дочерней компанией многопрофильного промышленного концерна General Electric Co (США). Появление лампы Genura знаменует собой второй этап в развитии БИЛ, как перспективного энергоэкономичного источника света.

Разработка этой лампы проводилась международным коллективом ученых и инженеров в отделениях GE-Lighting, размещенных в трех странах: США (Кливленд, Огайо), Великобритании (Энфильд и Лечестер) и Венгрии (Будапешт и Надьканьша). Создание промышленных образцов БИЛ Genura было осуществлено в рекордно короткий срок (за 12 мес.), руководящая и координирующая роль в разработке принадлежала Центру исследований и разработок концерна General Electric Co в Скенектади (штат Нью-Йорк).

Серийное производство в Европе освоено на венгерском заводе GE-Lighting в г. Надьканьша, принадлежавшем ранее фирме Tungsram.

Общий вид, конструктивная схема и основные характеристики компактной БИЛ Genura представлены на рис. 4—6 и в табл. 3.

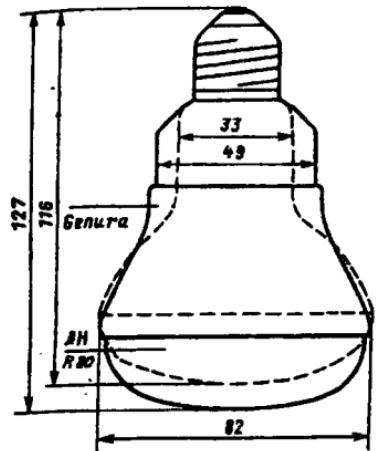


Рис. 4. Общий вид БИЛ типа Genura и сравнение ее габаритов с зеркальной ЛН R80 (100 Вт)

Форма и габариты лампы Genura максимально приближены к таковым у стандартной зеркальной лампы накаливания в выдувной колбе типа R 80 мощностью 100 Вт (см. рис. 4 и табл. 4).

БИЛ Genura, снабженная цоколем Е 27, не требует новой и специальной арматуры — она может быть установлена вместо указанной зеркальной лампы R 80 в любом подходящем для нее светильнике с резьбовым патроном. При такой замене может быть получена существенная экономия электроэнергии (более чем в 4 раза) и уменьшены расходы на обслуживание, так как срок службы БИЛ Genura в 10 раз превышает среднюю продолжительность горения ламп накаливания. Минимальное потребление мощности (23 Вт вместо 100 Вт у зеркальной лампы) и соответственно сниженное тепловыделение значительно облегчает тепловой режим светильников, уменьшая нагрев освещаемых объектов (при экспозиционном освещении) и нагрузку на систему кондиционирования (при общем освещении помещений).

Несколько подробнее о конструктивных особенностях БИЛ Genura и ее некоторых специфических характеристиках. Эта БИЛ (подобно компактным ЛЛ со встроенным ПРА и резьбовым цоколем) отличается от БИЛ типа QL единой компоновкой

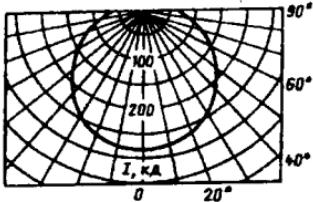


Рис. 5. Кривая силы света БИЛ типа Genura

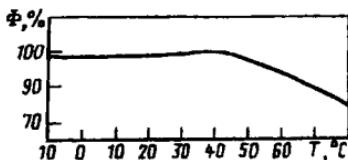


Рис. 6. Зависимость светового потока БИЛ типа Genura от температуры окружающего воздуха

Таблица 3

**Основные характеристики безэлектродной индукционной ККЛ Genura**

Параметры	Значения
Потребляемая мощность, Вт	23
Питающая сеть:	
напряжение	220 — 240
частота, Гц	50/60
Рабочая частота электромагнитного поля, МГц	2,5
Световой поток, лм	1100
Осевая сила света, кд	280
Световая отдача, лм/Вт	48
Средний срок службы, ч	15 000
50 %-ный угол рассеяния светового пучка	120
Цветовая температура излучения, К	2700, 3000
Общий индекс цветопередачи $R_a$	≥82
Габариты:	
диаметр, мм	82
длина, мм	127
Масса, г	200

Таблица 4

**Сравнение параметров КЛЛ Genura и ЛН**

Параметры	Безэлектродная индукционная КЛЛ Genura	Зеркальная ЛН типа R80
Мощность, Вт	23	
Световой поток, лм	1100	
Осевая сила света, кд	280 (при $\alpha^* = 2 \times 60$ )	500 (при $\alpha^* = 2 \times 40$ )
Срок службы, ч	15 000	1000
Полная длина, мм	127	116
Диаметр купола колбы, мм	82	80
Диаметр горловины колбы, мм	49	33

\* угол рассеяния светового пучка, отнесенный к 50%-ному значению осевой силы света

всех элементов в одном узле.

Внутри грибовидной герметично заваренной колбы находится небольшое количество ртути и ксенона. Изнутри колба покрыта трехкомпонентным люминофором марки Polylux, обеспечивающим то же спектральное распределение энергии излучения и качество цветопередачи, что и у ЛЛ с трехполосным спектром, использующих этот люминофор. По оси колбы расположен соленоидный индуктор с ферритовым сердечником, питаемый от встроенного в прицокольную зону колбы ПРА — генератора ВЧ (2,5 МГц), в схеме которого применены электронные компоненты повышенной надежности. Как и в БИЛ типа QL, высокочастотное электромагнитное поле индуктора в лампе Genura вызывает выход УФ-излучения в парах ртути, которое возбуждает люминофор и преобразуется последним в видимое излучение.

На поверхность колбы под слоем люминофора дополнительно нанесено тонкопленочное электропроводящее покрытие из окиси цинка, служащее для экранирования выхода во внешнее пространство электромагнитного излучения ВЧ.

Внешний кожух-отражатель, служащий главным образом защитной оболочкой для электронного блока ПРА, отлит из белого конструкционного полипропилена марки Valox фирмы GE-Plastic (США), обладающего формостойкостью при температурах от -20 до +120 °C.

Отсутствие электродов в компактной БИЛ Genura позволило достичь срока службы 15 000 ч (на 5 тыс. ч больше, чем у серийных КЛЛ с электронными ПРА). Разработчики лампы — специалисты GE-Lighting считают, что дальнейший прогресс в развитии микроэлектроники позволит в будущем увеличить срок службы БИЛ аналогичной конструкции в 1,5—2 раза.

Время зажигания и перезажигания лампы Genura ничтожно мало — 0,1 с. Надежное зажигание гарантировано и при отрицательных температурах (до -10 °C). Примечателен тот факт, что световой поток лампы близок к оптимуму и стабилен в большом диапазоне температуры окружающего воздуха (от -10 до +40 °C), при 55 °C спад потока составляет только 5 % (рис. 6).

Изменение светового потока от времени наработки характеризуется следующими цифрами: после 5 тыс. ч спад  $\Phi_L$  составляет 23 %, после 10 тыс. ч — 28 % и после 15 тыс. ч — 30 %.

На рынке США новая БИЛ Genura появилась в конце 1994 г. Расчеты, а затем и практика эксплуатации в ОУ показали, что при действующих в этой стране тарифах на электроэнергию (около 0,15 доллара/кВт·ч) лампа Genura окупает свою достаточно высокую цену (30 долл.) примерно за полгода при ежесуточной наработке 12 ч.

Небезынтересны результаты экономической оценки результатов модернизации ОУ торгового зала магазина с заменой во встроенных светильниках зеркальной лампы 100 Вт на БИЛ Genura 23 Вт (табл. 5)\*.

Из осуществленных в европейских странах ОУ с применением БИЛ Genura следует отметить установку общего освещения зала ожидания в здании аэропорта Копенгагена и освещение памятника русскому промышленнику и меценату Николаю Демидову во Флоренции.

Последней новинкой на относительно еще небольшом по времени пути развития безэлектродных разрядных источников света стала БИЛ модели Endura мощностью 150 Вт со световым потоком  $\Phi_L = 12\,000$  лм и  $\tau = 60\,000$  ч. Эта принципиально новая по конструкции БИЛ разработана фирмой Osram, ее первые промышленные образцы были показаны в светотехническом разделе Ганноверской промышленной ярмарки в апреле 1997 г.

Разрядная трубка БИЛ Endura имеет форму вытянутого кольца, на коротких противолежащих участках которого расположены кольцевые соленоидные индукторы на ферритовых сердечниках (рис. 7), питаемые от специального ВЧ – ЭПРА.

Оптимизированные размеры и форма разрядной трубки лампы Endura и внешнее внецентровое (относительно оси разряда) размещение индукторов позволили, по сравнению с описанными выше типами БИЛ, в 10 раз уменьшить частоту электромагнитного поля (250 кГц), возбуждающего выход УФ-излучения, получить значительную величину единичного  $\Phi_L$  и довести световую отдачу до 80 лм/Вт.

По мнению разработчиков, эта величина  $\eta_v$  не предел для

\* См. Nagunsberichte, Licht'96 — сб. докладов на 12-й объединенной конференции Светотехнических обществ Германии, Австрии, Швейцарии и Нидерландов. с. 164: A.Kerschbaumer, Richtungsweisende Lampentechnologie — Weiterentwicklung von Induktionslampen.

Показатели	(I) Старая ОУ: зеркальная ЛН типа R80	(II) Новая ОУ: безэлектродная индукционная лампа Genura
(A) Средний срок службы лампы, ч	1000	15 000
(B) Цена лампы, DM	3	50
(C) Мощность лампы, Вт	100	23
(D) Годовая наработка, ч	3000	3000
(E) Стоимость замены одной лампы, DM	5	5
(F) Тариф на электроэнергию, DM/кВт·ч	0,25	0,25
(G) Число ламп В ОУ, шт	100	100
<u>Годовые расходы на освещение, DM:</u>		
(H) Лампы (B·D/A)G	900	1000
(I) Замены (E·D/A)G	1500	100
(J) Стоимость электроэнергии (C·D·F·G)/1000	7500	1725
(K) ИТОГО: (H+I+J)	9900	2825

Экономия от новой ОУ:  
 $M = KII - KI = 7075 \text{ DM/год}$

Срок окупаемости затрат на новые лампы Genura  
 $N = (BII - BI) G / M \approx 8 \text{ мес.}$

Экономия электроэнергии (в стоимостном выражении) за весь срок службы лампы Genura:  $(JI - JII) AII / D = 28 875 \text{ DM}$

Общая экономия за срок службы (15 тыс. ч) лампы Genura:  
 $P = M \cdot AII / D = 35 375 \text{ DM}$

**БИЛ** такого типа при сохранении достигнутого, вероятно экстремального  $\tau$ .

Хорошее качество цветопередачи обеспечено применением улучшенных трехкомпонентных люминофорных смесей марки Lumilux.

В ближайшие годы Osram расширит ассортимент своих БИЛ:

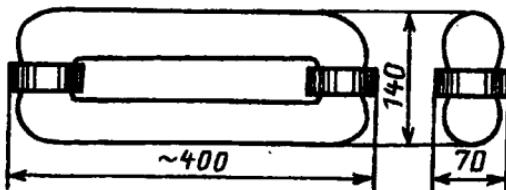


Рис. 7. Общий вид и габариты БИЛ типа Endura

готовится к выпуску лампа мощностью 100 Вт с  $\Phi_L = 8000$  лм с таким же большим  $\tau$  и лампы мощностью более 150 Вт.

Вся серия ламп Endura будет выпускаться с четырьмя оттенками цвета излучения ( $T_{ц} = 2700, 3000, 4000$  и  $6000$  К).

Форма и размеры лампы Endura 150 Вт (особенно ее небольшая высота — 70 мм) и габариты ЭПРА позволяют создать для нее компактные плоские светильники, как с экранирующими решетками, так и с рассеивателями.

Наиболее целесообразными областями применения БИЛ Endura являются ОУ объектов, где смена ламп связана с неудобством доступа к светильникам и значительными расходами на эти операции (высокие промышленные здания, тунNELи, станции метро, железнодорожные и авиавокзалы и т. п.). Резкое снижение эксплуатационных расходов может быть получено в цехах с круглосуточной эксплуатацией технологического оборудования: периодичность замены БИЛ Endura в этих случаях может составить 6 — 7 лет, тогда как обычные ЛЛ при таком режиме эксплуатации приходится менять через 1,5 — 2 года.

Цена первых образцов БИЛ Endura вместе с ПРА составляла около 350 немецких марок; pilotные проекты ОУ фирма Osram реализовала в 1997 г. (производственный цех и тунNELь), широкое внедрение ламп Endura предполагалось начать в 1998 г.

# **Новые типы люминесцентных ламп с увеличенным сроком службы**

**В.О. Горнов, М.Л. Григоренко**

За последние 5 лет ведущие электроламповые фирмы (Philips Lighting, General Electric Lighting, Osram) повысили срок службы линейных люминесцентных ламп (ЛЛ) массового применения с 10—12 тыс. ч до 15—16 тыс. ч, а при работе в схемах с электронными ПРА даже до 18 тыс. ч.

Шведская фирма Auralight AB недавно привлекла к себе пристальное внимание экспертов на мировом светотехническом рынке, освоив производство нескольких серий специальных ЛЛ с резко увеличенным сроком службы (27—40 тыс. ч).

Представляет интерес история образования и развития этой фирмы, являющейся в скандинавском регионе основным производителем источников света, в первую очередь, ЛЛ.

Небольшой электроламповый завод в окрестностях Стокгольма начал выпуск первых серийных ламп накаливания в 1930 г. (тогда фирма называлась Luma). Через несколько лет было организовано собственное производство вольфрамовой проволоки для спиралей тел накала. В 1943 г. фирма Luma — одна из первых в Европе — начала массовое производство ЛЛ. После второй мировой войны производство интенсивно развивалось, новые площади и мощности осваивались на заводе в Карлскроне, где в 1970 г.пущен в эксплуатацию большой цех с автоматизированным технологическим оборудованием.

Специализация предприятия в направлении разработки и выпуска ЛЛ с повышенной продолжительностью горения, а также решение Швеции присоединиться к Европейскому Союзу привели к необходимости структурной перестройки в деятельности фирмы, которая была завершена в 1994 г.

Фирма оценивает свои производственные возможности выпуском примерно 3 млн. шт. ЛЛ в год. При численности персонала фирмы 200 человек ее годовой оборот составляет

около 60 млн. долларов.

В 1980 г. фирма Auralight AB получила мировой патент на новую конструкцию электродного узла, позволившую в 2 – 3 раза продлить полезный срок службы линейных ЛЛ мощностью 18, 36 и 58 Вт в колбах диаметром 26 мм.

В 1990 г. фирма запатентовала новую технологию защиты дорогих узкополосных люминофоров и стекла от ртутного загрязнения в результате химических реакций в процессе эксплуатации ЛЛ: снижение излучательной способности (эмиссии) люминофора существенно замедляется при нанесении на внутреннюю поверхность колбы специального бесцветного покрытия\*.

Рассмотрим особенности, преимущества и области применения каждой из четырех ЛЛ с повышенным сроком службы, выпускаемых фирмой Auralight AB.

### **Серия AURA-Long-Life.**

На рис. 1 приведены зависимости светового потока от времени наработки, иллюстрирующие очень высокий полезный срок службы этих ЛЛ, достигнутый за счет указанных выше усовершенствований.

Внешне ЛЛ серии AURA-Long-Life ничем не отличаются от стандартных ЛЛ диаметром 26 мм, значительное же различие между ними — в конструкции электродов. Спираль электрода окружена чашевидным экраном, закрепленным на нетоковедущем держателе, впаянном в стекло ножки между токовводами. Со стороны цоколя экранный узел снабжен донышком, сквозь которое проходят токовводы электрода, а со стороны разряда передний торец экрана имеет диафрагму с осевым отверстием. Диаметр этого отверстия выбран таким образом, что свободные электроны могут проникать через него беспрепятственно и электрические характеристики лампы в пусковом и рабочем режимах не выходят из нормируемого диапазона.

Электродный экран, примененный во всех сериях ЛЛ фирмы Auralight AB, показан на рис. 2. Он обеспечивает следующие преимущества:

---

\* Использование такой внутренней защитной пленки в ЛЛ серии TL-D Super 80 NG (Philips Lighting) и Polylux XL (GE-Lighting) позволило уменьшить спад светового потока к концу срока службы (12 – 15 тыс. ч) с 15 – 20 % до 5 %.

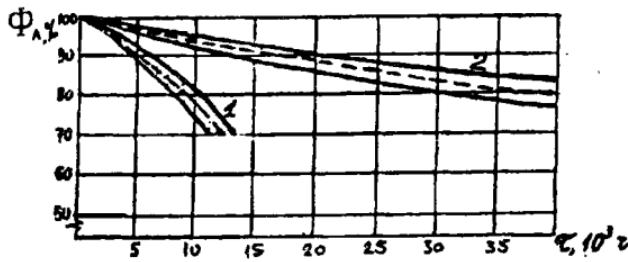


Рис. 1. Зависимость светового потока ЛЛ диаметром 26 мм от времени наработки:  
1 — лампы стандартных исполнений на трехполосных люминофорах 36, 58 Вт;  
2 — лампы серии AURA-Long-Life той же мощности

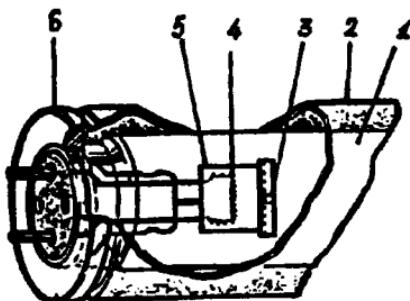


Рис. 2. Конструкция ЛЛ серии Thermo-LL:  
1 — колба диаметром 26 мм; 2 — теплоизолирующий стеклянный цилиндр диаметром 38 мм; 3 — диафрагма электродного экрана; 4 — спираль электрода; 5 — электродный экран; 6 — узел уплотнения и крепления цилиндра на цоколе лампы

- сокращает скорость испарения эмиттерного вещества (окислы бария, стронция, кальция);
- уменьшает интенсивность бомбардировки катода ионами ртути;
- снижает потемнение приэлектродных зон колбы.

Как известно, эмиттер, нанесенный на спираль электрода, предназначен для снижения работы выхода электронов, что необходимо для нормальных условий зажигания и стабилизации разряда ЛЛ. С обеднением эмиттерного слоя работа выхода

электронов резко повышается и, начиная с определенного момента, когда масса эмиттера достигает критического минимума, лампа перестает функционировать.

Экран вокруг электродов повышает плотность электронов в околоспиральном слое, что, в свою очередь, увеличивает напряженность электрического поля непосредственно перед электродом и, соответственно, приводит к меньшему катодно-анодному падению потенциала. Таким образом, процесс расхода эмиттера у новых ЛЛ замедляется по сравнению со стандартными лампами.

Высокий срок службы ЛЛ и незначительный спад их светового потока в процессе эксплуатации обеспечивается также тщательным выполнением чрезвычайно жестких требований к чистоте исходных материалов, в том числе стекла, электроламповых газов, эмиттеров, люминофоров и строгим соблюдением технологических режимов на всех стадиях автоматизированного изготовления ламп.

Одним из важных факторов, определяющих качество ЛЛ и поэтому подвергаемых постоянному контролю, является давление наполняющей смеси газов. Оно оказывает прямое воздействие на срок службы ламп, характеристики пускового режима и, в определенной мере, на процесс генерации светового излучения. Поэтому эффективный процесс откачки и применение инертных газов высокой чистоты принадлежат к числу основных предпосылок обеспечения заданных параметров ЛЛ серии AURA-Long-Life и других типов ЛЛ с продленным сроком службы. Кроме того, во всех модификациях ламп применяется специальный геттер с увеличенной продолжительностью действия, связывающий газовые примеси, выделяемые во время работы ламп и негативно влияющие на срок службы.

Лампы серии AURA-Long-Life, основные характеристики которых приведены в табл. 1, выпускаются трех номиналов по мощности с пятью оттенками цвета излучения — от тепло-белого (“домашнего”, близкого к свету ламп накаливания) до холодного (дневного) и могут, в зависимости от состава люминофора, соответствовать двум различным классам качества цветопередачи:

1 В ( $R_a = 80 - 90$ ) или 2 А ( $R_a = 70 - 80$ ). Лампы с более качественной цветопередачей имеют световую отдачу на 12–17 % выше, в этих ЛЛ применяются трехкомпонентные

Таблица 1

## Характеристики ЛЛ серии AURA-Long-Life

Мощность, Вт	$T_{\text{ц}}, \text{К}$	$\Phi^*_L$		$\eta_v, \text{лм}/\text{Вт}$		Срок службы, ч	
		при $R_a > 70$	при $R_a > 85$	при $R_a > 70$	при $R_a > 85$	при $R_a > 70$	при $R_a > 85$
18	1150	1350	64	75	27 000	36 000	
	2700						
	3000						
36	3500	3000	3350	83	93	27 000	36 000
	4000						
58	6500	4800	5350	83	92	23 000	36 000

\* — световой поток после первых 100 ч горения

люминофоры, активированные редкоземельными элементами.

В табл. 1 и на рис. 1 даны среднестатистические величины полезного срока службы — времени наработки ЛЛ с электромагнитными ПРА, к которому световой поток снижается до уровня 70 % от номинального (после первых 100 ч работы ламп). У ламп AURA-Long-Life с галофосфатными люминофорами, обеспечивающими класс качества цветопередачи 2 А (модификация Universette), полезный срок службы более чем в 3 раза превышает этот параметр у ЛЛ обычного исполнения; у ЛЛ модификации Luminette с высоким качеством цветопередачи полезный срок службы в 4 раза больше. Если говорить о полном физическом сроке службы, т. е. времени, в течение которого лампы надежно функционируют (зажигаются без «миганий» и стабильно горят), то оно, по данным фирмы, составляет для ламп AURA-Long-Life более 50 тыс. ч.

Очевидно, что полезный срок службы 27—36 тыс. ч у этих ЛЛ\*, по сравнению с 5—7,5 тыс. ч у стандартных ламп, несмотря почти на 5-кратную разницу в цене, дает конечному потребителю существенные выгоды, позволяя резко сократить расходы на обслуживание ОУ, особенно в многоэтажных ад-

\* Полезный срок службы ламп фирмы Auralight AB определен при стандартном трехчасовом цикле (165 мин. включено, 15 мин. выключено) и при работе с электромагнитными ПРА.

министративных зданиях, высоких производственных цехах, крупных торговых центрах: уменьшаются более чем на 50 % расходы на замену и утилизацию отработавших ЛЛ. В перечисленных объектах, когда доступ к светильникам затруднен, затраты на замену одной ЛЛ могут превысить ее цену. В помещениях промышленных зданий с 3-х сменной работой и непрерывным производственным процессом новые ЛЛ могут проработать без замены 3 — 4 года; при применении стандартных ЛЛ в ОУ, работающих в непрерывном режиме, пришлось бы за этот период провести 4 — 5 замен. Эти оценки справедливы для суммарного годового времени работы освещения 8760 ч. Однако типовая годовая наработка большинства ОУ административно-управленческих зданий, банков, магазинов и некоторых производств составляет 3000 ч/год. Здесь время работы ЛЛ серии AURA-Long-Life без замены еще более впечатляющее: 10 — 12 лет. "Долгоживущие" ЛЛ фирмы Auralight AB в различных исполнениях, в том числе и "холодостойкие" модификации уже применяются в скандинавских странах в различных ОУ: в высоких цехах, в машинных залах тепловых и атомных электростанций, для освещения подземных переходов, путепроводов, а в ряде случаев — в ОУ туннелей.

### **Серия "холодостойких" ЛЛ Thermo-LL.**

Лампы этой серии в колбах диаметром 26 мм и мощностью 18 — 58 Вт разработаны для эксплуатации в условиях пониженных температур окружающего воздуха и обладают преимуществами ламп серии AURA-Long-Life.

Основные параметры ламп Thermo-LL представлены в табл. 2, а особенности конструкции показаны на рис. 2. Теплоизолирующий воздушный слой вокруг колбы диаметром 26 мм, способствующий "самоподогреву" лампы, образован за счет наличия внешней коаксиальной стеклянной трубки с наружным диаметром 38 мм.

Сравнение температурных зависимостей световых потоков ламп серии Thermo-LL с теплоизолирующим цилиндром и обычных типов ЛЛ различных мощностей диаметром 26 и 38 мм проиллюстрировано на рис. 3 а, б, в; влияние температуры окружающего воздуха в диапазоне от -20 до +30 °С на световой поток (в %) приводится в табл. 3.

## Характеристики ЛЛ серии Thermo-LL

Мощность, Вт	$T_u, K$	$\Phi^*_L$		$\eta_v, \text{лм/Вт}$		Срок службы, ч	
		при $R_a > 70$	при $R_a > 85$	при $R_a > 70$	при $R_a > 85$	при $R_a > 70$	при $R_a > 85$
18		1100	1250	61	69	27 000	36 000
36	3000						
58	4000	2800	3200	78	89	27 000	36 000
		4500	5000	78	86	25 000	36 000

\* — световой поток после первых 100 ч горения

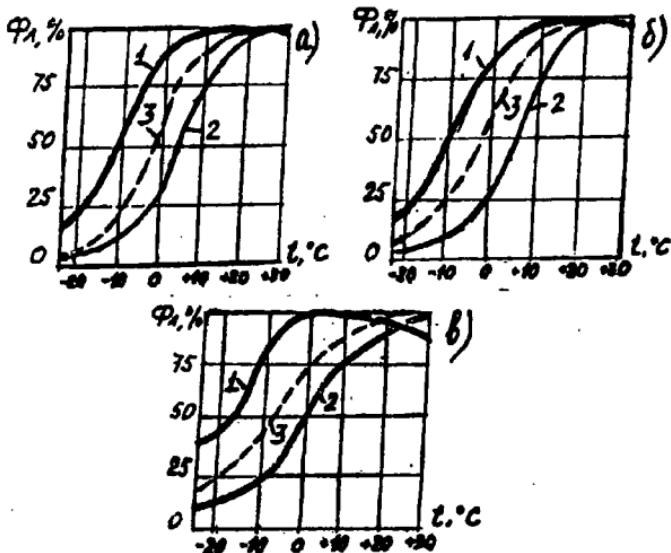


Рис. 3. Зависимость светового потока от температуры для открытых ЛЛ в "спокойном" окружающем воздухе; (а): 1 — ЛЛ серии Thermo-LL 18 Вт; 2 — стандартная ЛЛ 18 Вт диаметром 26 мм; 3 — стандартная ЛЛ 20 Вт диаметром 38 мм; (б): 1 — ЛЛ серии Thermo-LL 36 Вт; 2 — стандартная ЛЛ 36 Вт диаметром 26 мм; 3 — стандартная ЛЛ 40 Вт диаметром 38 мм; (в): 1 — ЛЛ серии Thermo-LL 58 Вт; 2 — стандартная ЛЛ 58 Вт диаметром 26 мм; 3 — стандартная ЛЛ 65 Вт диаметром 38 мм

Как видно из рис. 3, максимум светового потока ЛЛ Thermo-LL за счет наличия указанного теплоизолирующего цилиндра смещен в область температур от 0 до +10 °С, при достаточно низких температурах (-20 °С) световой поток этих ламп хотя и неизбежно уменьшается до 20 – 40 % от максимума (в зависимости от мощности ЛЛ), но все же остается в 2,5 – 3 раза большим по сравнению со сниженным потоком стандартных ЛЛ аналогичной мощности, которые уже при 0 С теряют 50 % своего потока. Лампы серии Thermo-LL также выпускаются с двумя классами цветопередачи; полезный срок службы ЛЛ с высокими цветопередающими свойствами (класс 1В) составляет 36 тыс. ч, у ламп с хорошей цветопередачей (класс 2А) – 25 – 27 тыс. ч.

Наиболее целесообразными областями, где могут быть применены описываемые ЛЛ являются: освещение неотапливаемых складов, гаражей, улиц, путепроводов, туннелей, наружные информационные и рекламные табло, световые указатели, помещения для хранения продуктов (без глубокой замарозки). Лампы Thermo-LL уже несколько лет эксплуатируются в светильниках, освещдающих один из уличных туннелей Осло, а также в ОУ автотранспортного туннеля под горным перевалом Сен-Готард в Депонтийских Альпах (Швейцария).

В 1993 году после предварительных испытаний акционерная компания берлинских электростанций (BEWAG) закупила у фирмы Auralight AB более 50 тыс. шт. ЛЛ Thermo-LL мощностью 36 Вт для замены ими в 2-ламповых светильниках стандартных ЛЛ 40 Вт. В Берлине эти ЛЛ диаметром 38 мм были применены в 65 тыс. шт. световых точек наружных ОУ (40 % от общего числа). В осенне-зимний период со средними преобладающими температурами воздуха от 0 до +1 °С световой поток уличных светильников с ЛЛ 2×40 Вт заметно снижался, кроме того полезный срок службы этих ламп составлял не более 8 тыс. ч. Замена стандартных ЛЛ 40 Вт на лампы

Thermo-LL 36 Вт с теплоизолирующей рубашкой позволила заметно повысить эффективность уличных ОУ (см. рис. 4); групповая замена ламп в берлинских светильниках проводится теперь через 4 года. Снижение затрат на обслуживание уличных ОУ позволило окупить затраты на приобретение более дорогих,

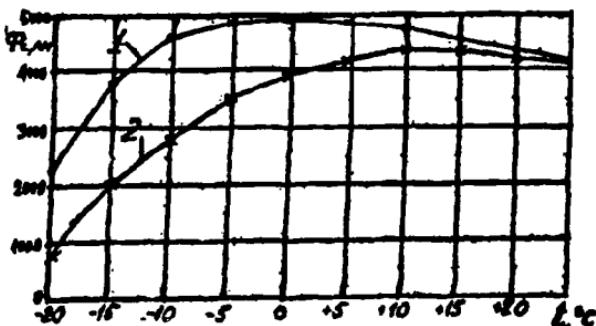


Рис. 4. Зависимость светового потока уличного светильника от температуры наружного воздуха:

1 — с ЛЛ Thermo-LL ( $2 \times 36$  Вт); 2 — со стандартными ЛЛ диаметром 38 мм ( $2 \times 40$  Вт)

но и более долговечных ламп, примерно за 2 года.

#### Лампы серии Protector-LL с защитной оболочкой.

В помещениях фармацевтической, косметической, пищевой и ряде других отраслей промышленности предъявляются очень строгие гигиенические требования к чистоте воздушной среды и оборудования. Источники света, применяемые в таких ОУ, должны быть как можно более долговечны, чтобы исключить их частые замены и опасность случайного разрушения (последнее особенно важно при использовании ртутьсодержащих ЛЛ). Кроме того, лампы должны обеспечивать высокое качество цветопередачи и ограниченную составляющую УФ в области "В" и "С".

Оптимально выполняют все перечисленные требования специально разработанные для пищевой и других отраслей промышленности ЛЛ фирмы Auralight AB с нанесенной на колбу защитной пленкой (серия Protector-LL).

В качестве защитной пленки, наносимой на ЛЛ по запатентованной технологии электростатическим напылением, используется полиэтилентерефталат (PET), обладающий повышенной ударной вязкостью, эластичностью, высоким интегральным коэффициентом светопропускания, устойчивостью к воздействию УФ-излучения (низким коэффициентом пожелтения). В качестве бесцветного полимера может быть использован и тетрафторэтилен Teflon FEP, оптические характеристики которого при

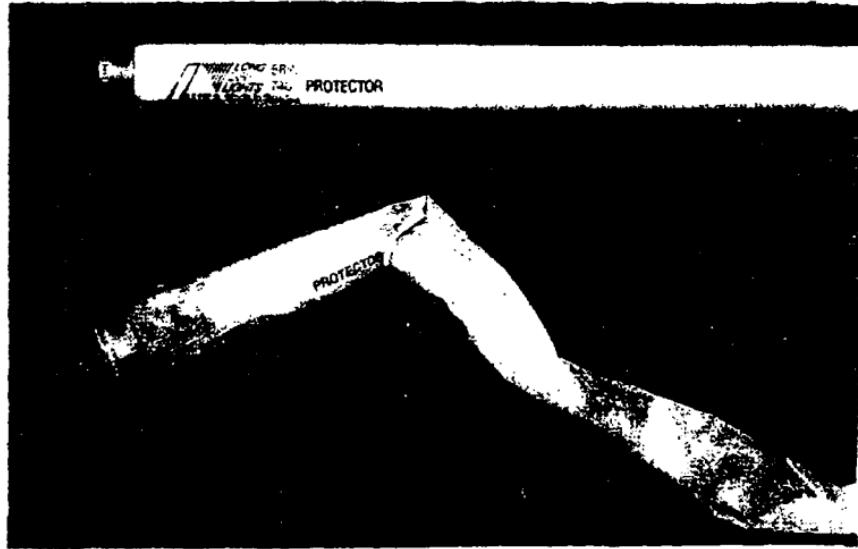


Рис. 5. Люминесцентные лампы с защитной полимерной оболочкой — серия Protector-LL

нанесении на ЛЛ остаются неизменными в течение 10 тыс. ч (оболочки из поливинилхлорида или полиэтилена теряют прозрачность уже через 3 тыс. ч наработки ЛЛ).

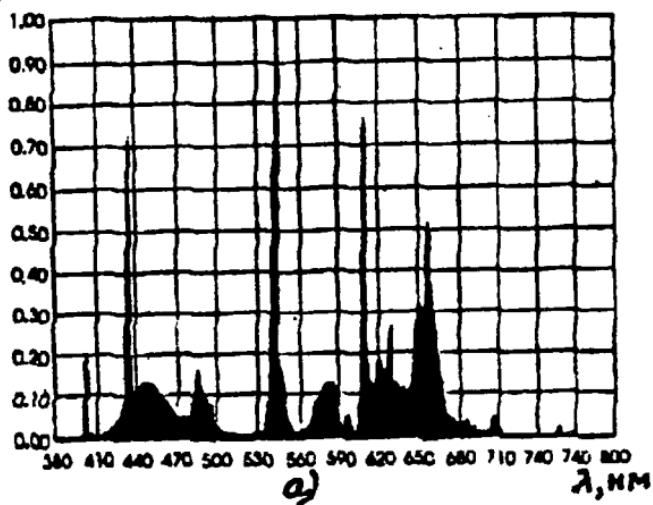
Так как пленка в процессе покрытия ЛЛ адгезируется как к стеклу колбы, так и к цоколям, то при разрушении лампы осколки стекла, частицы люминофора и ртуть остаются заключенными в герметичном и механически прочном чехле (см. рис. 5), не представляя опасности для людей, среды помещения и продукции, производимой в нем.

Лампы серии Protector-LL выпускаются тепло-белого и белого цвета ( $T_{ц} = 3000$  и  $4000$  К). Параметры ЛЛ с классом цветопередачи 1 В: 18 Вт, 1250 лм, 69 лм/Вт; 36 Вт, 3250 лм, 90 лм/Вт; 58 Вт, 5000 лм, 86 лм/Вт. Лампы класса цветопередачи 2 А: 18 Вт, 1100 лм, 61 лм/Вт; 36 Вт, 2900 лм, 80 лм/Вт; 58 Вт, 4600 лм, 79 лм/Вт.

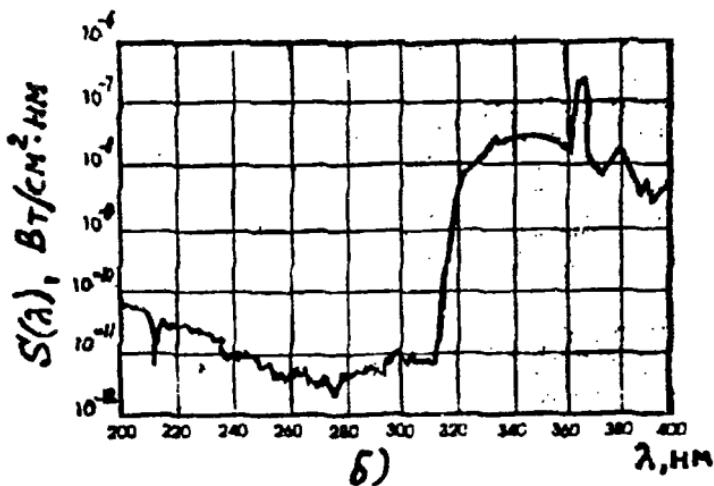
Полезный срок службы ЛЛ серии Protector-LL определен фирмой на уровне 25 тыс. ч, т.е. периодичность смены ЛЛ, по сравнению с обычными, увеличивается более, чем в 2,5 раза и не создаются частые помехи при обслуживании ОУ в случае непрерывного производства продукции.

Второй модификацией ЛЛ Protector-LL являются лампы серии Gourmet-LL, которые, кроме полимерной оболочки, отличаются от обычных еще и спектром излучения (см. рис. 6). Эти лампы разработаны фирмой специально для освещения витрин и прилавков магазинов по продаже свежего мяса, колбасно-ветчинных

$\Phi(\lambda)$ , отн.ед.



а)



б)

Рис. 6. Спектр излучения ЛЛ серии Gourmet-LL с защитной полимерной оболочкой и повышенной красной составляющей:  
а — в видимой части оптического диапазона; б — в УФ-области

изделий и фруктов. Наличие повышенной красной составляющей излучения и тщательно сбалансированных долей излучения в остальных частях спектра обеспечивает акцентирующую цветопередачу красно-коричневых оттенков; мясные изделия и фрукты в свете ламп Gourme-LL выглядят свежими и аппетитными. Полимерная пленка способствует также резкому снижению УФ-составляющей в спектре этих ЛЛ (см. рис. 6, б), что исключает выцветание объектов и материалов, чувствительных к воздействию оптических излучений, а также устраниет эффект визуального "посерения" мясных продуктов в торговых витринах, прилавках, на складах. Лампы имеют полезный срок службы 20 тыс. ч,  $T_{\text{ц}} = 3700$  К и  $R_a = 70$ . Величины световых потоков и световых отдач таковы: 18 Вт — 700 лм (38 лм/Вт); 36 Вт — 1800 лм (50 лм/Вт); 58 Вт — 3700 лм (48 лм/Вт). Лампы с защитной полимерной пленкой (как Protector-LL, так и Gourme-LL), снабжены тем же новым катодным узлом с экраном и покрытием между люминофором и колбой, т. е. сохраняют все достоинства ламп серии AURA-Long-Life.

Лампы серии Reflector-LL аналогичны по конструкции "холодостойким" ЛЛ серии Thermo-LL, но дополнительно имеют диффузно отражающий слой, нанесенный на внутреннюю поверхность внешнего стеклянного цилиндра (см. рис. 7). Как видно из кривых силы света и данных табл. 4, отражающий слой обеспечивает коэффициент усиления силы света ЛЛ примерно 1,7 в направлении, перпендикулярном оси лампы (по сравнению с обычными ЛЛ с круглосимметричным излучением).

Лампы серии Reflector-LL, имеющие полезный срок службы 36 тыс. ч и высокое качество цветопередачи ( $R_a = 80$ ), благодаря направленности их излучения могут применяться в светильниках без отражателей. Использование этих ЛЛ эффективно в помещениях с запыленной средой и при пониженных окружающих температурах; спад светового потока у них при таких условиях минимален (склады, подземные сооружения, гаражи, сборочные конвейеры автомобильных заводов и т. д.). При снижении мощности ламп на 15 % максимум светового потока может быть смешен в область температуры +15 °С. В таком режиме при температуре 20 — 30 °С лампы излучают световой поток, близкий к номинальному. Цветовая температура излучения ламп соответствует тепло-белому (3000 К) и белому свету (4000 К);

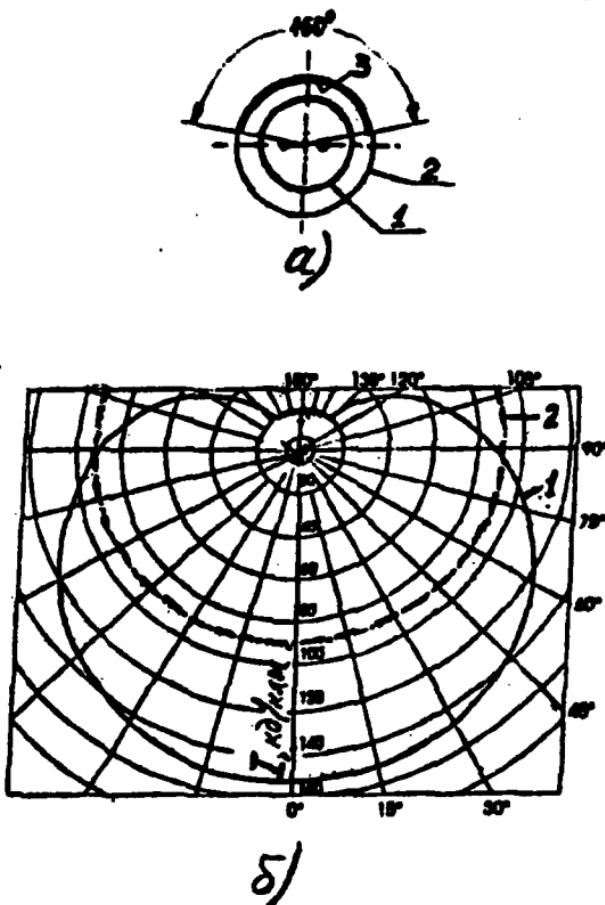


Рис. 7. ЛЛ серии Reflector-LL:

(а) — поперечное сечение: 1 — колба лампы диаметром 26 мм; 2 — внешний стеклянный цилиндр диаметром 38 мм; 3 — диффузно отражающий слой; (б) — кривые силы света в поперечной плоскости: 1 — лампа Reflector-LL; 2 — обычная ЛЛ

Таблица 4

Сила света ЛЛ обычных и Reflektor-LL

Мощность, Вт (Световой поток, лм)	Сила света, $I_0$ , кд	
	Обычная ЛЛ	ЛЛ Reflektor-LL
18 (1250)	135	232
36 (3200)	345	593
58 (5000)	540	920

световая отдача лежит в пределах от 65 лм/Вт (для ЛЛ 18 Вт) до 83 лм/Вт (58 Вт).

Лампы серии AURA Super EX-LL мощностью 18, 36, 58 Вт (1300, 3300, 5100 лм) имеют световую отдачу соответственно 78, 97 и 95 лм/Вт, снабжены 1-штырьковыми цоколями типа Fa 6 и предназначены для включения только с электронными ПРА специально во взрывобезопасных светильниках. При  $T_{ц} = 4000$  К лампы имеют отличную цветопередачу ( $R_a = 85$ ). Полезный срок службы ламп 40 тыс. ч достигается при 20-часовом цикле включений. Лампы AURA Super EX-LL разработаны для применения на нефтедобывающих морских платформах, на предприятиях химической промышленности, нефтеперерабатывающих заводах. Они уже используются в светильниках, освещдающих бензораздаточные колонки таких крупнейших компаний как Shell и British Petroleum.

Последняя разработка фирмы — это серия U-Power-LL, лампы U-образной формы в трубках диаметром 26 мм с полезным сроком службы 18 тыс. ч при 12-часовом цикле включений: 18, 36, 58 Вт;  $T_{ц} = 3300$  и 4000 К,  $R_a = 80$ . Величины световых потоков после первых 100 ч наработки: 1200 лм (18 Вт), 3100 лм (36 Вт), 4800 лм (58 Вт). Длина ламп (без штырьков): 304 мм (18 Вт), 607 мм (36 Вт), 759 мм (58 Вт); ширина — 117 мм, расстояние между осями параллельных участков разрядной трубы — 92 мм.

#### Обзор составлен по материалам публикаций:

1. "Licht", 1997, № 7 — 8, с.615: Welk R., Spezielle Lampen fur spezielle Anwendungsbereiche.
2. "Energy Rept", 1995, № 3, с. 12: Triple life tubes save millions.
3. "Schweiz. Maschinenmarkt", 1995, № 37, с. 83: Zerbrechende Leuchtstofflampen mit Schutz.
4. "Elektrobörse", 1995, № 3, с. 164: Lampe mit Schutzfunktion.
5. "Elec. Contract. News", 1995, № 6, с. 16: Cold fluorescent lamps get their own double glazing.
6. "Deutsche Maschinenwelt", 1997, № 2, с. 12 — 14: Aura Long Life Leuchtstofflampen.
7. Каталоги фирмы Auralight AB (Швеция).

# Компактные люминесцентные лампы

В.О. Горнов, М.Л. Григоренко

В обзоре приняты следующие сокращения часто встречающихся словоизданий и обозначения величин:

ЛЛ — люминесцентная лампа;

КЛЛ — компактная люминесцентная лампа;

ЛН — лампа накаливания;

ЛОН — лампа накаливания общего назначения;

ПРА — пуско-регулирующий аппарат

ЭмПРА — электромагнитный пускорегулирующий аппарат;

ЭПРА — электронный пускорегулирующий аппарат;

ОУ — осветительная установка;

КСС — кривая силы света;

$U_c$  — напряжение питающей сети;

$U_l$  — напряжение на лампе;

$I_l$  — ток лампы;

$P_l$  — мощность, потребляемая лампой;

$P_{\text{пра}}$  — мощность, потребляемая ПРА;

$\Phi_l$  — световой поток лампы;

$\eta_v$  — световая отдача лампы;

$I$  — сила света;

$L$  — яркость;

$2\alpha$  — полный угол излучения или 50 %-ный угол рассеяния светового пучка;

$T_u$  — цветовая температура излучения;

$R_a$  — общий индекс цветопередачи;

$\tau$  — срок службы или наработка в процессе эксплуатации;

$t$  — температура воздуха или какой-либо точки на лампе.

В данном обзоре, наряду с фирменными наименованиями КЛЛ, используются сокращенные обозначения:

ТС — 2-канальные КЛЛ;

- TC-D — 4-канальные КЛЛ;
- TC-T — 6-канальные КЛЛ;
- TC-Q — 8-канальные КЛЛ;
- TC-F — 4-канальные (“плоские”) КЛЛ;
- TC-DD — (“квадратные” серии 2D);
- TC-L — 2-канальные (повышенной мощности, “удлиненные”).

Первые серийные КЛЛ появились на европейском рынке в 1981 г. Это были 2-канальные КЛЛ со встроенным стартером для работы с выносным ЭмПРА мощностью 5, 7, 9, 11 Вт (тип PL фирмы Philips и Dulux фирмы Osram), а также КЛЛ типа SL ( Philips) и Compacta (Osram) мощностью 9, 13, 18, 25 Вт со светорассеивающей оболочкой, встроенным ЭмПРА и резьбовым цоколем E27. Из оригинальных типов КЛЛ, созданных в начале 80-х годов, следует назвать кольцевую лампу Circolux мощностью 25 Вт с пристроенным резистивно-емкостным ПРА и цоколем E27 (Osram), квадратные “плоские” КЛЛ типа 2D (Thorn EMI) 16 и 28 Вт с индуктивным выносным ЭмПРА, а также КЛЛ Globolux (Tungsram) и Neo Ball (Toshiba) с внешней шаровой пластмассовой оболочкой диаметром 110 мм, встроенным ЭмПРА и цоколями E27 и В 22 [1 – 3]. Срок службы КЛЛ в начальный период их развития, как правило, не превышал 5 – 6 тыс. ч.

Подробный анализ конструкций КЛЛ, появившихся на рынке Европы, США, и Японии в 1981 – 1985 гг., был дан в публикациях журнала “Светотехника” [2, 3]. В этих обширных обзорах приведена классификация типов КЛЛ, представлены их световые и электрические характеристики, определены области применения, сделаны технико-экономические расчеты эффективности КЛЛ по сравнению с ЛОН в бытовом секторе, был дан прогноз развития нового энергоэкономичного источника света и разработаны предложения по оптимальному ассортименту КЛЛ при освоении их производства отечественной промышленностью.

Однако намеченные в 80-х годах планы развития выпуска КЛЛ в СССР, а затем в Российской Федерации оказались, по понятным причинам, в полной мере нереализованными, хотя необходимо отдать должное определенным усилиям ВНИИИС им. А.Н.Лодыгина в этом направлении.

Как видно из данных, приведенных в [2, 3], в первые годы в мире наблюдался бурный рост числа типов и модификаций КЛЛ, выпуск которых был освоен многими фирмами: Philips Lighting (Нидерланды), Osram, Radium (ФРГ), Mazda (Франция), Tungsram (Австрия), General Electric, Sylvania, Westinghouse (США), Toshiba, Matsushita (Япония), несколько позднее КЛЛ стали производиться в ЧССР (Tesla) и в ГДР (VEB Narva).

Сейчас, более чем через 15 лет с момента создания первых КЛЛ, можно считать, что их номенклатура в основном стабилизировалась, а мировой уровень развития определяется следующими наиболее крупными и именитыми электроламповыми производителями: Philips Lighting, Osram, GE-Lighting, Sylvania Lighting International (SLI), Radium и др.

В процессе усовершенствования серийных и создания новых КЛЛ усилия фирм в последнее 10-летие были направлены на решение следующих задач:

- упорядочение и оптимизация номенклатуры ламп по величинам  $P_{\text{л}}$  и  $\Phi_{\text{л}}$  в соответствии с требованиями проектировщиков освещения и дизайнеров светильников;
- уменьшение полной длины ламп и их поперечного размера;
- повышение единичного  $\Phi_{\text{л}}$  ламп;
- достижение более равномерного светораспределения в поперечной плоскости для ряда типов ламп;
- повышение стабильности  $\Phi_{\text{л}}$  в процессе эксплуатации и увеличение среднего  $\tau$ ;
- снижение потерь в ПРА и повышение  $\eta$  комплекта "КЛЛ + ПРА";
- создание ламп с температурной зависимостью  $\Phi_{\text{л}}$ , позволяющей достичь максимального эксплуатационного КПД у светильников как внутреннего, так и наружного освещения;
- обеспечение возможности плавного регулирования  $\Phi_{\text{л}}$ ;
- расширение цветовой гаммы излучения.

Успехи в области микроэлектроники интенсифицировали дальнейшее развитие КЛЛ: в 1985 — 1986 гг. для них были созданы несколько видов встраиваемых и автономных ЭПРА, что значительно упростило решение многих из перечисленных выше проблем, повысило энергоэкономичность ламп, облегчило конструирование осветительных приборов, расширило их но-

менклатуру и области применения.

Какие же основные показатели достигнуты и характеризуют уровень развития КЛЛ к концу 90-х годов?

1. Типовой ряд номиналов мощности с учетом всех разновидностей современных конструкций КЛЛ выглядит следующим образом: 5, 7, 9, 10, 11, 13, 15, 18, 20, 23, 24, 25, 26, 32, 36, 40, 42, 55 Вт.

2. Диапазон световых потоков соответственно составляет  $\Phi_L = 200 - 4800$  лм.

3. Световая отдача для ламп с выносным ПРА лежит в пределах  $\eta_v = 50 - 80$  лм/Вт, а у ламп со встроенным ПРА — 40 — 65 лм/Вт.

4. Широкая цветовая гамма цветовых оттенков излучения с  $T_{ц}$  от 2700 К (“домашний” тепло-белый свет, максимально близкий к ЛН) до 6500 К (“холодный” дневной свет).

5. С внедрением ЭПРА средний срок службы  $\tau$  при стандартизированном цикле включений большинством ведущих фирм повышен до 10 тыс. ч (для КЛЛ, включаемых с ЭмПРА некоторые изготовители указывают  $\tau = 8$  тыс. ч).

6. Полная длина КЛЛ в зависимости от конструктивного исполнения и мощности находится в пределах от 105 мм (у лампы 5 Вт) до 535 мм (55 Вт); трубы разрядных каналов имеют диаметры от 12 до 17 мм.

В табл. 1 обобщены основные характеристики КЛЛ типовой номенклатуры по данным четырех основных производителей этого источника света [1, 4 — 7]. Наиважнейшим показателем высокого качества КЛЛ этих и других специализированных фирм является строгое соблюдение при серийном производстве стандартов МЭК и разработанных на их основе Европейских норм: EN 60901 (Публикация МЭК IEC 901 “Одношокольные ЛЛ. Требования к принципу действия”); EN 61199 (IEC 1199 “Одношокольные ЛЛ. Требования к безопасности”); EN 60061 (IEC 61 “Ламповые цоколи и патроны”).

По конструктивным признакам КЛЛ разделяются на две большие группы (табл. 1): “А” — лампы для включения с выносными ПРА и штифтовыми цоколями; “Б” — лампы со встроенными ПРА и резьбовыми (или байонетными) цоколями.

В группу “А” входят КЛЛ с числом разрядных каналов от двух до шести, мощностью от 5 до 55 Вт и  $\Phi_L$  от 200 до 4800 лм.

**Таблица 1**

Типовая номенклатура компактных люминесцентных ламп

**A. КЛЛ со штифтовыми цоколями для схем включения с выносным ПРА**

А1. Двухканальные КЛЛ с 2-штифтовым цоколем, встроенным в него стартером и выносным ЭМПРА				
Тип, изготовитель	<i>P</i> , Вт	$\Phi$ , лм	<i>l</i> , мм	Цоколь G23
TC Delux-S (Osram)	5	250	105	
PPL-S/2p (Philips)	7	400	135	
Biax-S (GE-Lighting)	9	600	165	
Lynx-S (Sylvania)	11	900	235	

А2. Двухканальные КЛЛ с 4-штифтовым цоколем и выносным ЭПРА				
Тип, изготовитель	<i>P</i> , Вт	$\Phi$ , лм	<i>l</i> , мм	Цоколь 2G7
TC-E Delux-S/E (Osram)	5	250	85	
PL-S/4p (Philips)	7	400	115	
Biax-S/E (GE-Lighting)	9	600	145	
Lynx-SE (Sylvania)	11	900	215	

*Продолжение таблицы 1*

А3. Двухканальные КЛЛ с 4-штифтовым цоколем и выносным ПРА*					
Тип, изготовитель	<i>P</i> , Вт	<i>Ф</i> , лм	<i>l</i> , мм	Цоколь 2G11	
TC-L Delux-L (Osram) PL-L/4p (Philips) Biax-L (GE-Lighting) Lynx-LE (Sylvania)	18 24 36 40 55	1200 1800 2900 3500 4800	225 320 415 435 535		

\* Лампы 18, 24, 46 Вт могут включаться, как с обычными ЭМПРА, так и с ЭПРА.  
Лампы 40 и 50 Вт рассчитаны на включение с ЭПРА

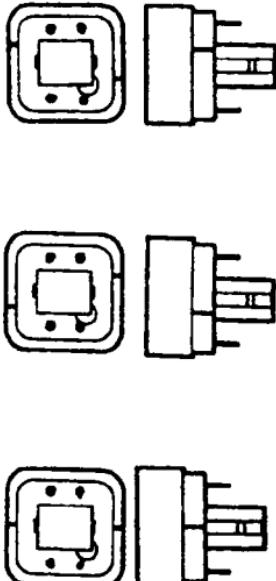
А4. Четырехканальные КЛЛ с 2-штифтовым цоколем, встроенным в него стартером и выносным ЭМПРА					
Тип, изготовитель	<i>P</i> , Вт	<i>Ф</i> , лм	<i>l</i> , мм	Цоколь	
TC-D Delux-D (Osram) PPL-C/2p (Philips) Biax-D (GE-Lighting) Lynx-D (Sylvania)	10(а) 13(а) 18(б) 26(в)	600 900 1200 1800	105 132 150 168	G24d-1 G24d-2 G24d-3	

а — цоколь: G24d-1;  
б — цоколь: G24d-2;  
в — цоколь: G24d-3

*Продолжение таблицы 1*

**А5. Четырехканальные КЛЛ с 4-штифтовым цоколем и выносным ЭПРА**

Тип, изготовитель	$P$ , Вт	$\Phi$ , лм	$l$ , мм	
TC-DE Delux-D/E (Osram)	10(а)	600	103	G24q-1
PL-C/4р (Philips)	13(а)	900	130	G24q-2
Biax-D/E ( GE-Lighting)	18(б)	1200	146	G24q-3
Lytix-DE ( Sylvania)	26(в)	1800	165	Цоколь 2G11

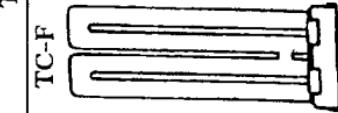


а — цоколь: G24q-1;  
б — цоколь: G24q-2;  
в — цоколь: G24q-3



**А6. Четырехканальные КЛЛ с 4-штифтовым цоколем и выносным ПРА**

Тип, изготовитель	$P$ , Вт	$\Phi$ , лм	$l$ , мм	
TC-F Delux-F (Osram)	18	1100	122 × 90	Цоколь 2G10
Lytix-F (Sylvania)	24	1700	165 × 90	
	36	2800	217 × 90	



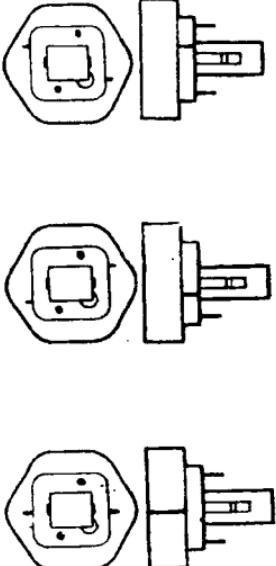
\*лампы всех номиналов мощности могут включаться как с ЭПРА, так и с обычными ЭМПРА и выносными статерами

*Продолжение таблицы 1*

**A7. Шестиканальные КЛЛ с 2-штифтовым цоколем, встроенным в него стартером и выносным ЭМПРА**

Тип, изготавитель	<i>P</i> , Вт	<i>Φ</i> , лм	<i>l</i> , мм	Цоколь
TC-T Delux-T (Osram)	13(а)	900	116	GX24d-1
PL-T/2р (Philips)	18(б)	1200	123	GX24d-2
Biax-T/2р (GE-Lighting)	26(в)	1800	138	GX24d-3
Lynx-T (Sylvania)				

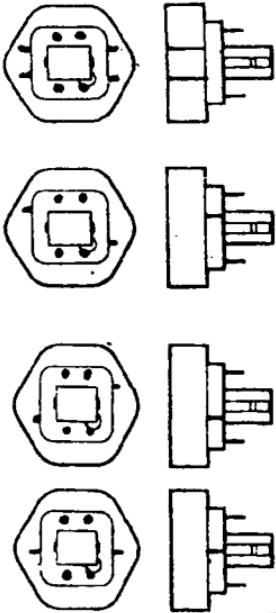
а — цоколь: GX24d-1;  
б — цоколь: GX24d-2;  
в — цоколь: GX24d-3



**A8. Шестиканальные КЛЛ с 4-штифтовым цоколем и выносным ЭПРА**

Тип, изготавитель	<i>P</i> , Вт	<i>Φ</i> , лм	<i>l</i> , мм	Цоколь
TC-TE Delux-T (Osram)	13(а)	1100	122 × 90	GX24q-1
PL-T/4р (Philips)	18(б)	1100	165 × 90	GX24q-2
Biax-T/E4р (GE-Lighting)	26(в)	1700	217 × 90	GX24q-3
Lynx-T/E (Sylvania)	32(в)	2800		GX24q-4
	42(г)			

а — цоколь: GX24q-1;  
б — цоколь: GX24q-2;  
в — цоколь: GX24q-3  
г — цоколь: GX24q-4



# Продолжение таблицы 1

## **Б. КЛЛ со встроенным ПРА и резьбовыми цоколями**

Тип, изготавитель	$P_{л}$ , Вт	$\Phi$ , лм	$l$ , мм	$d$ , мм	Масса, г	Цоколь
<b>Б1.</b> Двухканальные КЛЛ с ЭПРА Delux-EL Mini (Osram) PLE-C (Philips) Electronic Biax M (GE-Lighting)	5	200	121	30	50	E14, E27
<b>Б2.</b> Четырехканальные КЛЛ с ЭПРА Delux-EL (Osram) PLE-C (Philips) Electronic Biax (GE-Lighting) Mini-Lynx (Sylvania)	7	400	130	42 – 45	70	E14, E27
<b>Б3.</b> Шестиканальные КЛЛ с ЭПРА Delux-EL (Osram) PLE-C (Philips) Electronic Biax (GE-Lighting) Linx-Electronic (Sylvania)	11	600	137	42 – 45	75	E14, E27

\* Возможно исполнение с цоколем В22 (байонетным)

*Продолжение таблицы 1*

Тип, изготавитель	$P_{\text{п}}, \text{ Вт}$	$\Phi, \text{ лм}$	$d, \text{ мм}$	$l, \text{ мм}$	Масса, г	Цоколь
<b>Б4.</b> КЛЛ со сферической внешней оболочкой и ЭПРА						
Delux-EL Globe (Osram)	11	450	90	154	154	
PLE/Decor (Philips)	15	750	100	168	150	E27
Electronic Biax Globe (GE-Lighting)	20	1100	120	190	170	
	23	1350	120	190	180	
<b>Б5.</b> КЛЛ с цилиндрической внешней оболочкой и ЭПРА						
Compacta (Osram)	9	400 (350)*	64	153	370	
SL-Comfort (Philips)	13	600 (550)	64	163	370	E27
SL-Prismatic (Philips)	18	900 (800)	64	173	410	
	25	1200 (1050)	64	183	429	

\* 1-я цифра —  $\Phi_{\text{п}}$  для ламп с призматической оболочкой  
2-я (в скобках) — для ламп с опаловой оболочкой

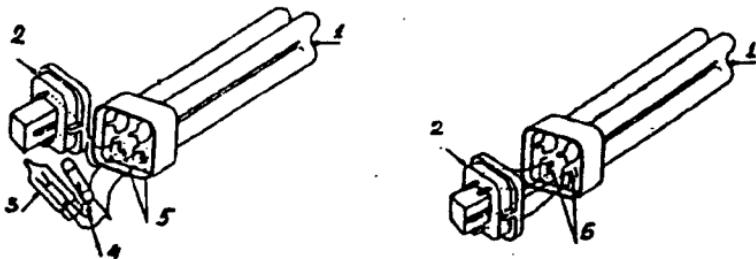


Рис. 1. Конструкция КЛЛ группы "А", включаемых с выносными ПРА:  
 а — лампа с 2-штифтовым цоколем, встроенным стартером, для работы с ЭмПРА; б — лампа с 4-штифтовым цоколем для работы с ЭПРА; 1 — разрядная трубка; 2 — цоколь; 3 — стартер; 4 — помехозащитный конденсатор; 5 — электроды

Лампы подгрупп "A1" (2-канальные, 5 — 11 Вт), "A4" (4-канальные, 10 — 26 Вт) и "A7" (6-канальные, 13 — 26 Вт) снабжены встроенным в цоколь стартером и предназначены для включения с выносными ЭмПРА (см. рис. 1). КЛЛ этой подгруппы снабжаются 2-штифтовыми цоколями, тип которых зависит от мощности лампы и числа разрядных каналов (G23, G24d-1, G24d-2, G24d-3, GX24d-1, GX24d-2, GX24d-3).

Лампы подгрупп "A2" (2-канальные, 5 — 11 Вт), "A3" (2-канальные, 18 — 55 Вт), "A5" (4-канальные, 10 — 26 Вт), "A6" (4-канальные, 18 — 36 Вт), "A8" (6-канальные, 13 — 42 Вт) рассчитаны на включение с выносными, преимущественно ЭПРА. Ряд типов ламп из этой подгруппы могут работать и с ЭмПРА и выносными стартерами. Используемые здесь конструкции 4-штифтовых цоколей также различаются в зависимости от типа и мощности ламп (2G7, 2G11, G24q-1, G24q-2, G24q-3, 2G10, GX24q-1, GX24q-2, GX24q-3, GX24q-4).

Как видно из приведенных в табл. 1 чертежей цоколей, они отличаются не только числом и позицией контактных штырей, но и взаимным расположением внешних фиксирующих ребер, являющихся механическим "кодом" для данного типа КЛЛ, не позволяющим установить ее в патрон светильника, оснащенного ПРА для лампы другого типа.

Если для КЛЛ различной мощности указан один и тот



Рис. 2. Общий вид КЛЛ группы "Б" со встроенным ЭПРА

цоколями для прямой замены ЛН: КЛЛ со встроенным ЭПРА, двумя, четырьмя и шестью разрядными каналами, мощностью от 5 до 23 Вт и  $\Phi_L = 200 - 1500$  лм, а также КЛЛ со встроенными ЭмПРА и внешней оболочкой от 9 до 25 Вт (400 — 1200 лм). Лампы малой мощности (5, 7, 11 Вт) выпускаются с цоколем Е14 или Е27, лампы мощностью от 15 до 25 Вт снабжаются цоколем Е27 (или В22 по специальному заказу). Типовая конструкция КЛЛ этой группы показана на рис. 2.

Впечатляющая динамика роста производства и объемов сбыта КЛЛ в странах Зап. Европы, США, Японии в 1995 — 1997 гг., а также улучшение их эксплуатационных параметров, прежде всего среднего  $\tau$ , позволяют прогнозировать серьезную конкуренцию, которую могут создать КЛЛ как ЛН общего назначения, так и в ряде областей применения — линейным ЛЛ. Поэтому приводимые ниже и не публиковавшиеся ранее в отечественной светотехнической печати сведения о характеристиках КЛЛ — энергоэкономичного и перспективного источника света — могут быть полезны конструкторам и дизайнерам светильников, проектировщикам освещения, работникам электромонтажных организаций, персоналу маркетинговых служб и менеджерам торговых компаний.

Наглядно проиллюстрированный на рис. 3 баланс энергии излучения КЛЛ с двумя основными типами ПРА, показывает более эффективное использование потребляемой энергии при включении ламп с ЭПРА: по сравнению с эксплуатацией в схемах с ЭмПРА суммарные тепловые потери в КЛЛ сокращаются более чем на 5%, увеличивая в равной мере и выход

же тип цоколя, например, для ламп ТС-Д мощностью 10 и 13 Вт (подгруппа "А4"), то это означает, что они могут работать с универсальным ПРА (на 2 номинала мощности).

Группа "Б" содержит лампы с резьбовыми цо-

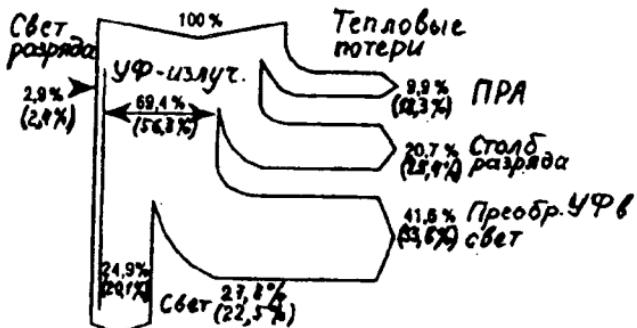


Рис. 3. Баланс энергии КЛЛ при работе с электронным и электромагнитным (цифры в скобках) ПРА

светового потока.\* Небезынтересны также данные об излучении КЛЛ в "невидимых" областях оптического спектра — инфракрасной и ультрафиолетовой (табл. 2, 3).

Все необходимые для дизайна светильников и осветительных установок светотехнические характеристики КЛЛ сведены в табл. 4, 5 и приведены на рис. 4. Продольные кривые светораспределения КЛЛ представлены в трех наиболее важных для расчетов плоскостях: С = 0°, С = 45° и С = 90°. Из рассмотрения КСС в поперечной плоскости видно, как повышается их равномерность с увеличением количества разрядных каналов. Наиболее равномерными поперечными КСС отличаются 8-канальные КЛЛ фирмы GE-Lighting и спиральные лампы фирмы Narva.

Высокое качество цветопередачи КЛЛ ( $R_a = 82 - 85$ ) обусловлено применением в них трехкомпонентных люминофоров, применяемых уже в течение 20 последних лет в линейных ЛЛ диаметром 26 мм (алюминиевые соединения различных элементов с гексагональной кристаллической решеткой, активированные редкоземельными элементами). Характерный 3-полосный спектр излучения наиболее широко применяемых КЛЛ теплобелого света дан на рис. 5, на рис. 6 — подробная информация о цветовых характеристиках КЛЛ: координатах цветности, коррелированной цветовой температуре и общем индексе

\* Потери мощности в ЭмПРА для КЛЛ могут достигать 30 — 40 % от мощности лампы, потери же в ЭПРА — от 8 до 12 %.

Таблица 2

Излучение КЛЛ в инфракрасных областях спектра оптических излучений

ИК-область	$\lambda$ , нм	Доля ИК-излучения от мощности, потребляемой КЛЛ, %
"A"	780 — 1400	0,6
"B"	1400 — 2700	0,15
"C"	> 2700	35 — 40

Таблица 3

Ультрафиолетовая облученность от КЛЛ с различным цветом излучения

Оттенки цвета излучения (цветовая температура КЛЛ)	УФ-облученность, ( $\text{мВт}/\text{м}^2$ )/1000лк	
	Область УФ-“А” ( $\lambda = 315 - 400$ нм)	Область УФ-“В” ( $\lambda = 280 - 315$ нм)
Дневной свет 6000 К	100	6
Белый свет 4000 К	90	7
Тепло-белый свет 3000 К	100	10
2700 К	110	10

цветопередачи.

Типовыми критериями для определения наиболее весомого эксплуатационного параметра КЛЛ — полезного срока службы являются: снижение  $\Phi_L$  в процессе наработки в реальных условиях эксплуатации и кривая “смертности” ламп, характеризующая их процентную долю ( $n$ , %), продолжающую функционировать в ОУ к данному времени суммарной наработки. Эти очень важные и статистически надежные зависимости для КЛЛ различных типов фирм Osram и GE-Lighting приводятся на рис. 7 — 11. Для 2-, 4- и 6-канальных КЛЛ, работающих с выносными ПРА, кривые  $n = f(\tau)$  и  $\Phi_L = f(\tau)$  получены как при включении ламп с электромагнитными аппаратами (см. рис. 7), так и с электронными (см. рис. 8).

Примечательно, что ведущие фирмы-изготовители опреде-

Таблица 4

Светотехнические характеристики КЛЛ, включаемых с выносными ПРА (группа А, табл. 1)

$P_L$ , Вт	$\Phi_L$ , нм	$\eta_v^*$ , лм/Вт	$L_{cp}^{**}$ , ккд/м <sup>2</sup>
5 (а)	250	50	25
7 (а)	400	57	26
9 (а)	600	66,6	28
10 (б)	600	60	40
11 (а)	900	81,8	27
13 (б)	900	69	40
18 (б)	1200	66,6	45
24 (а)	1800	75	21
26 (б)	1800	69	60
32 (в)	2400	75	65
36 (а)	2800	77,7	25
40 (а)	3500	87,5	23
42 (в)	3200	76	70
55 (а)	4800	87	32

\* без учета потерь в ПРА

\*\* для ламп тепло-белого, белого и дневного света с  $T_u = 2700, 3000$  и  $4000$  К

а — 2-канальные лампы; б — 4-канальные; в — 6-канальные

Таблица 5

Светотехнические характеристики КЛЛ со встроеными ПРА (группа Б, табл. 1)

$P_L^*$ , Вт	$\Phi_L$ , нм	$\eta_v^*$ , лм/Вт	$L_{cp}$ , ккд/м <sup>2</sup>
<b>Лампы без внешней оболочки с ЭПРА</b>			
5	200	40	25 — 30
7	400	57	
11	600	54,5	
15	900	60	
20	1200	60	
23	1500	65	
<b>Лампы типа Glode со сферической опаловой оболочкой и ЭПРА</b>			
11	450	41	5 — 6
15	750	50	
20	1100	55	
23	1350	58,7	
<b>Лампы с цилиндрической призматической оболочкой и ЭмПРА</b>			
9	400	44,4	20 — 25
13	600	46	
18	900	50	
25	1200	48	

\* с учетом потерь в ПРА

ляют полезный срок продолжительности функционирования КЛЛ по 20 %-ному спаду светового потока и 50 %-ному выходу ламп из строя.

На средний  $\tau$ , кроме неизбежного процесса старения люминофора и его ртутного загрязнения, большое влияние оказывает периодичность и число включений ламп. Стандартизованный публикацией № 901 МЭК режим включений, с учетом которого определяется средняя продолжительность безотказной наработки КЛЛ, — это так называемый 3-часовой цикл: 165 мин. лампа работает, затем отключается на 15 мин., вновь включается на 165 мин. и т.д.

Из кривой, показанной на рис. 12, видно, что переход с

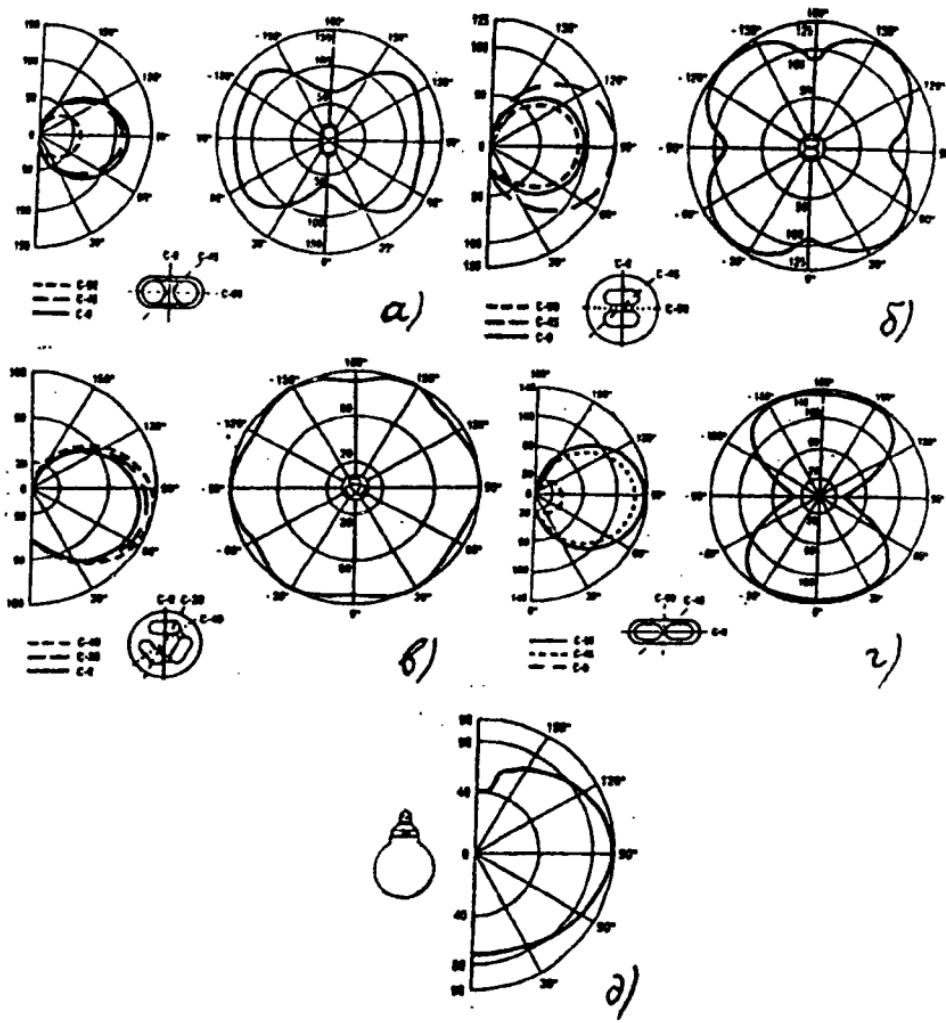


Рис. 4. Характерные КСС (в канделях на 1000 лм) в продольных (слева) и в поперечной (справа) плоскостях для КЛЛ типового ассортимента с различным числом и расположением разрядных каналов:

*а* — 2-канальные типа ТС-Д (7 — 11 Вт) и ТС-Л (18 — 55 Вт); *б* — 4-канальные типа ТС-Д (7 — 26 Вт); *в* — 6-канальные типа ТС-Т (13 — 42 Вт); *г* — 4-канальные типа ТС-Ф (панельного типа, 18 — 36 Вт); *д* — сферического типа Globe (11 — 20 Вт, продольная КСС для лампы с опаловой оболочкой при положении "цоколем вверх")

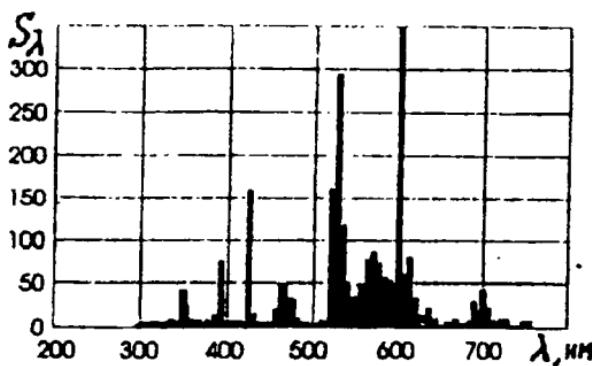


Рис. 5. Относительная интенсивность распределения энергии излучения КЛЛ с  $T_{\text{ц}} = 2700$  К в видимой области спектра (мВт/5 нм/кдм)

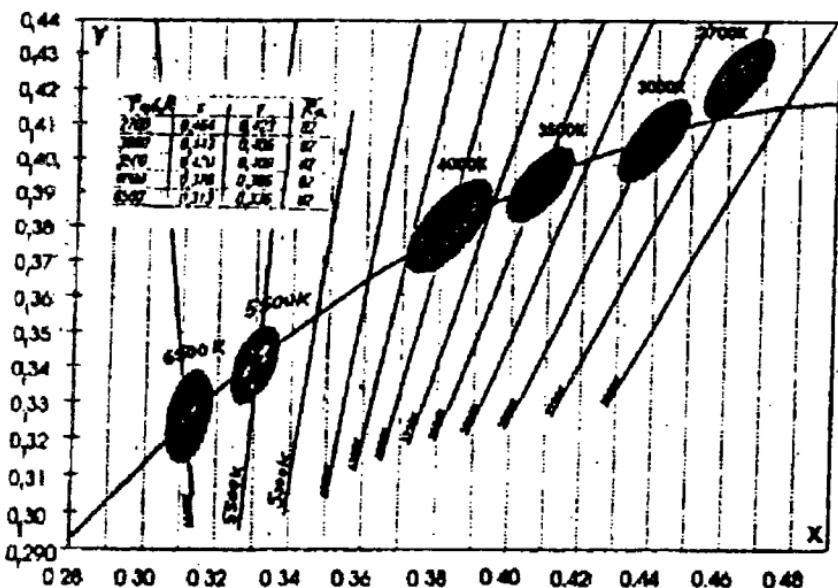


Рис. 6. Цветовые характеристики излучения КЛЛ с 3-полосным спектром на участке цветового графика МКО (с кривой цветности черного излучателя и прямыми Джадда — линиями равной коррелированной  $T_{\text{ц}}$ :

$x, y$  — координаты цветности излучения (эллиптические области — поля допусков на  $x, y$ );  $R_a$  — общий индекс цветопередачи

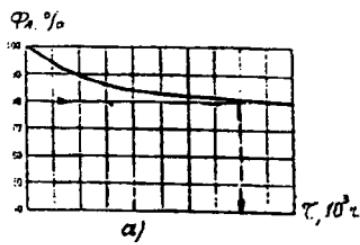


Рис. 7. Полезный срок службы КЛЛ типов ТС, ТС-Д, ТС-Т при включении с ЭмПРА:  
а — зависимость светового потока от времени наработки; б — кривая “смертности” ламп

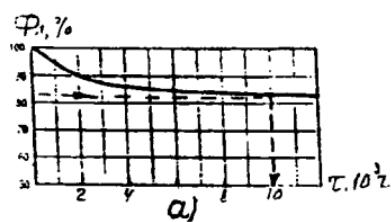
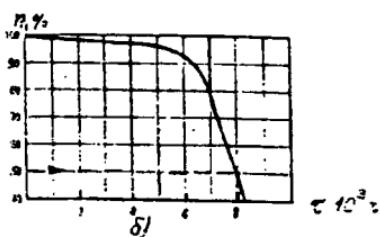


Рис. 8. Полезный срок службы КЛЛ типов ТС/Е, ТС-Д/Е, ТС-Т/Е при включении с ЭПРА

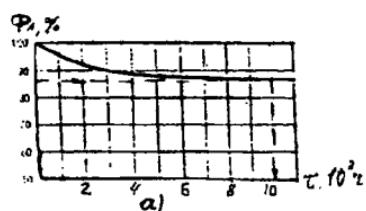
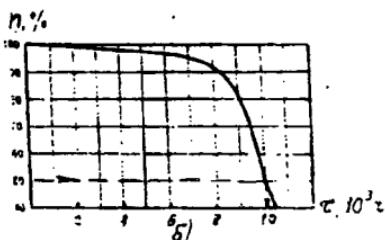


Рис. 9. Полезный срок службы КЛЛ типов ТС-Л и ТС-Ф при включении с ЭПРА

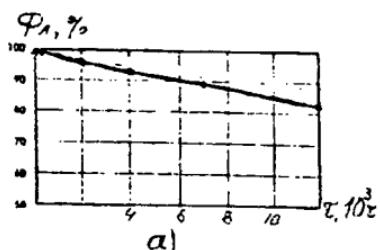
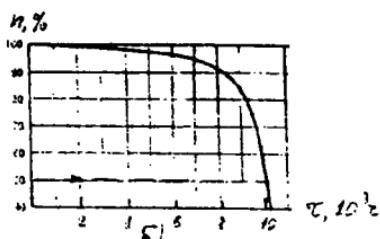
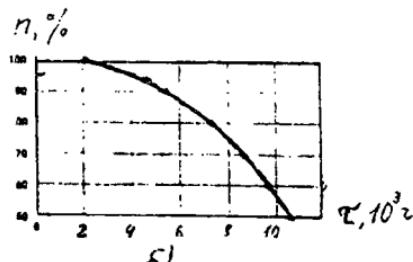


Рис. 10. К определению полезного срока службы КЛЛ Biах-С, -Д, -Т с выносным ЭПРА



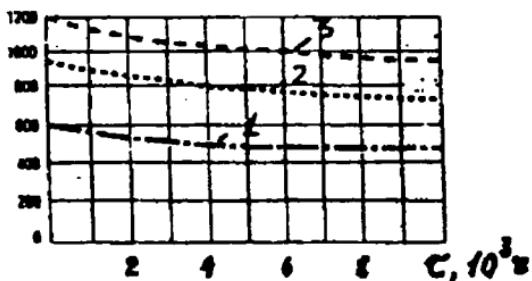


Рис. 11. Фактический спад светового потока КЛЛ серии Biax Electronics со встроенным ЭПРА:  
1 — лампа мощностью 11 Вт; 2 — 15 Вт; 3 — 20 Вт

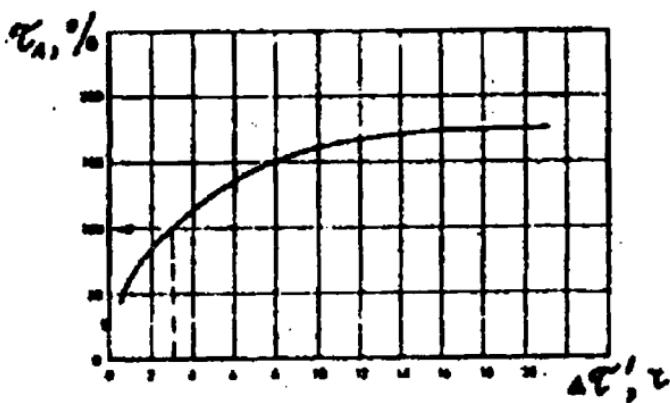


Рис. 12. Зависимость среднего срока службы КЛЛ от периодичности включений при работе с ЭПРА.  $\Delta t$  — интервал между включениями. (Данные фирмы GE Lighting)

3-часового на 8-часовой цикл включений может повысить на 50 % по отношению к номинальному значению, указанному в техдокументации и каталогах.

Высокая надежность электронных компонентов ПРА сделала КЛЛ практически "безразличными" к числу включений. Например, КЛЛ серии Dulux EL допускают около 0,5 млн. включений без ущерба для срока службы (режим испытаний: 60 с лампа включена, 150 с — выключена и т. д.).

При работе КЛЛ в стартерно-дроссельных схемах с индуктивным ЭМПРА для достижения среднего  $\tau = 8$  тыс. ч число включений ламп в указанном выше режиме не должно превышать 15 тыс.

Как уже было сказано, внедрение ЭПРА в схемы питания КЛЛ привело к повышению их среднего  $\tau$ , сначала с 5 до 8 тыс. ч, а затем и до 10 тыс. ч.

В 1996 году фирмой Sylvania впервые был начат выпуск КЛЛ серии Mini-Lynx Professional со встроенным ЭПРА и  $\tau = 12$  тыс. ч. Такое заметное увеличение долговечности КЛЛ активизировало их продажу в ряде регионов сбыта для замены ЛН в жилом секторе.

С аналогичными показателями надежности производятся КЛЛ со встроенными ЭПРА фирмой GE-Lighting, которая предоставляет 5-летнюю гарантию на свои изделия.

На Ганноверской ярмарке 1998 г. фирма Osram показала модифицированную серию "электронных" КЛЛ с цоколем E27 — Dulux EL Longlife мощностью 5, 7, 11, 15, 20, 23 Вт с рекордно высоким сроком службы  $\tau = 15$  тыс. ч, совпадающим с этим параметром у линейных ЛЛ нового поколения. Более 12 лет могут проработать такие КЛЛ в светильнике при средней 3-часовой наработке (примерно 1100 ч/год). Подобного показателя надежности КЛЛ, предназначенных для прямой замены ЛН, пока не удалось достичь ни одной другой фирме. К этому можно добавить, что при розничной продаже КЛЛ со встроенным ЭПРА Osram предоставляет покупателю гарантийный талон на 2 года.

Компактные ЛЛ значительно более критичны к температуре окружающего воздуха ( $t_{окр}$ ), чем обычные линейные ЛЛ. Максимум  $\Phi_L$  у КЛЛ обычно соответствует  $t_{окр} = +(15 - 25)^\circ\text{C}$  (в зависимости от типа и положения горения) и устанавливается за 1,5 — 2 мин. с момента включения; у амальгамных КЛЛ процесс разгорания несколько замедлен (см. рис. 13).

Значение  $t_{окр}$  для открытой КЛЛ (вне светильника), естественно, эквивалентно температуре воздуха в помещении; при эксплуатации лампы в светильнике  $t_{окр}$  может отличаться от  $t$  в помещении на 15 — 20  $^\circ\text{C}$  в большую сторону. Работа КЛЛ принципиально возможна практически в любом положении горения (вертикальном, горизонтальном, наклонном), но при этом

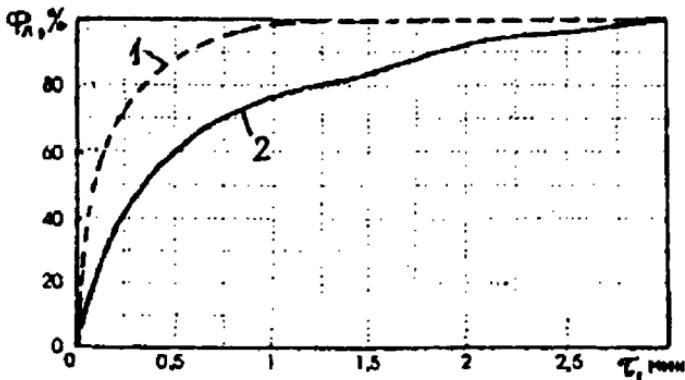


Рис. 13. Кривая разгорания КЛЛ (GE-Lighting):

1 — лампа в обычном исполнении; 2 — амальгамные КЛЛ Biax Q/E — 42 Вт и Electronic Biax Q — 23 В

всегда нужно учитывать температурную зависимость в конкретной позиции эксплуатации (см. рис. 14—17).

Как видно из приведенных данных, при варьировании положения горения и  $t_{окр}$  величины  $\Phi_l$ , а, следовательно, и эксплуатационного КПД светильников могут существенно отличаться. Такая чувствительность  $\Phi_l$  к указанным параметрам обусловлена у КЛЛ изменением положения и температуры холодной точки ( $t_{хт}$ ), определяющей давление паров ртути, и, соответственно, выход  $\Phi_l$  (см. рис. 16, 17).

Знание зависимости  $\Phi_l = f(t_{окр})$  очень важно при разработке светильников с КЛЛ. Так, например, если в светильнике внутреннего освещения обычную КЛЛ (без амальгамы) предпочтительнее размещать цоколем вверх, то применительно к уличным светильникам наиболее целесообразным (с точки зрения минимального спада  $\Phi_l$  при пониженных  $t_{окр}$ ) является положение КЛЛ “цоколем вниз”, что хорошо видно из температурных зависимостей на рис. 14, 15. На этих рисунках показано изменение  $\Phi_l$  в широком диапазоне  $t_{окр}$  (от  $-10$  до  $+50$  °C) для КЛЛ фирм Osram и Sylvania [1, 4, 5] в трех основных положениях эксплуатации.

На рис. 18 указаны точки на поверхности КЛЛ, работающих с автономным ПРА, температура в которых должна быть обя-

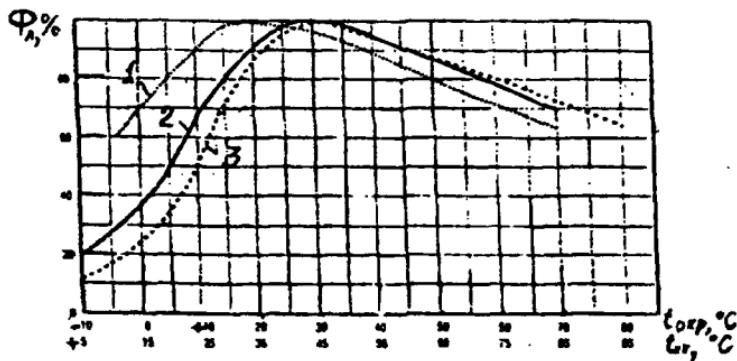


Рис. 14. Типовая зависимость обычных 6-канальных КЛЛ типа ТС-Т от температуры окружающего воздуха ( $t_{\text{окр}}$ ) и холодной точки ( $t_{xj}$ ) на примере ламп Delux T 18 Вт

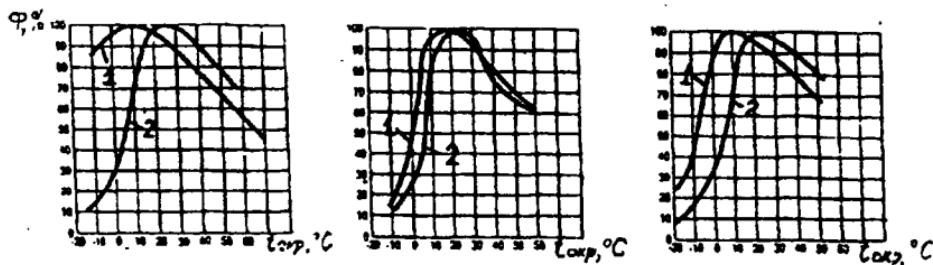


Рис. 15. Температурная зависимость светового потока КЛЛ фирмы Silvania:  
а — 2-канальных 5—11 Вт (Lynx S); б — 4-канальных 10—26 Вт (Lynx D); в — 2-канальных 40—55 Вт (Lynx L); 1 — в положении цоколем вниз; 2 — цоколем вверх

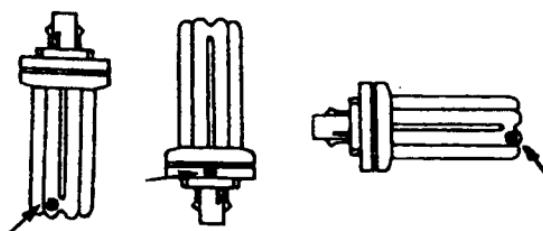


Рис. 16. Изменение позиции "холодной" точки ламп Biах при различных положениях эксплуатации

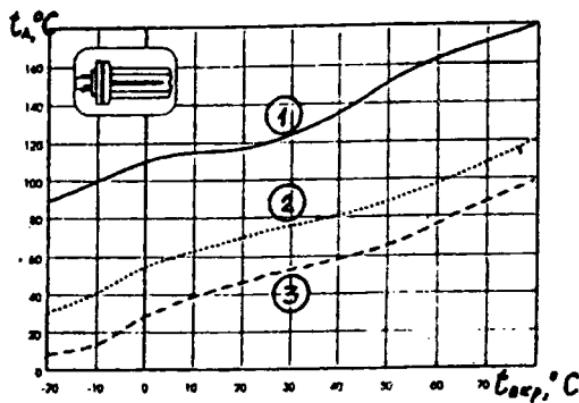
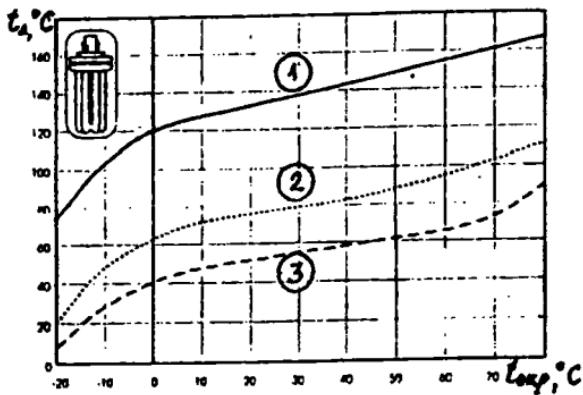
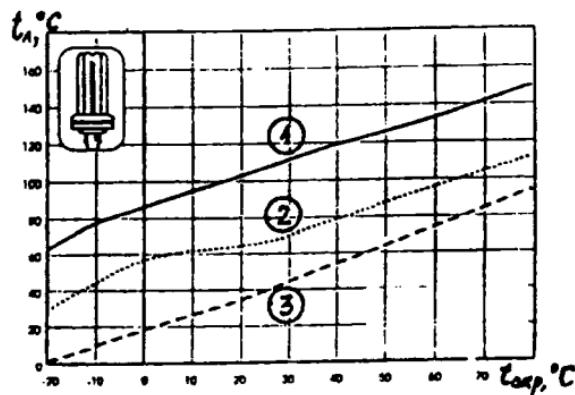


Рис. 17. Зависимость температуры в контрольных точках 6-канальных ламп Вiax T/E 18 Вт от окружающей температуры при различных положениях эксплуатации:

1 — зона электродов; 2 — середина колбы; 3 — цоколь

зательно известна конструкторам осветительных приборов, причем наиболее важно знать ее в точках "0", "1" и "4" (табл. 6).

Температура в точке "0" при  $t_{окр} = 25^\circ\text{C}$  и питающем  $U_c = 1,06 U_{ном}$  не должна превосходить  $90^\circ\text{C}$  (в соответствии с европейскими нормами EN 60901), так как  $t_0$  определяет тепловую нагрузку на стартер тлеющего разряда, встроенный в 2-штифтовой цоколь G23, которым снабжены 2-канальные КЛЛ, включаемые с выносным ЭмПРА.

Таблица 6

Температура в контрольных точках основных типов КЛЛ  
с выносными ПРА\*

КЛЛ		t, °C				
		№№ точек (см. рис. 18)				
Тип	$P_L$ , Вт	0	1	2	3	4
TC	5	35	80	100	65	45
	7	35	80	100	65	45
	9	40	85	100	65	45
	11	40	85	100	65	45
TC-D	10	55	85	115	85	45
	13	50	70	80	70	45
	18	60	90	125	85	45
	26	70	110	135	100	50
TC-T	13	50	70	125	60	40
	18	60	95	120	85	40
	26	70	105	135	95	45
	32**	55	100	120	85	45
	42**	60	100	130	90	45
TC-L	18	45	55	75	55	45
	24	45	55	70	50	45
	36	45	60	80	60	45
	40**	45	55	70	55	40
	55**	50	70	95	75	45
TC-F	18	45	55	80	50	45
	24	45	55	75	50	40
	36	50	60	85	55	45

\* Данные для КЛЛ серии Dulux (Osram) при следующих условиях эксплуатации: положение горения "цоколем вверх", вне светильника;  $t_{окр} = 25^\circ\text{C}$ ;  $U_c = 230\text{ В}$ ; при включении с ЭмПРА (кроме КЛЛ, отмеченных \*\*, а работающих с ЭПРА).

Точка “1” — наиболее нагретая зона цоколя, с учетом норм EN 61199 допустимая в ней  $t_1 < 140$  °С. Эта точка удалена на 8 мм от опорной плоскости цоколей типов G23, 2G7, G24, GX24 и на 12 мм — у цоколей 2G10 и 2G11. Если температурный режим светильника таков, что указанная предельная  $t_1$  превышается, то может произойти потеря формостойкости цоколя, обусловленная пределом нагрева примененного термопласта.

Точка “4” при работе КЛЛ “цоколем вверх” в открытом воздухе соответствует “холодной” точке колбы (кроме амальгамных ламп), превышая, как правило,  $t_{окр}$  на 15 °С. При других позициях горения и определенных условиях температура в точке “4” может быть иной. Если при работе с ЭмПРА  $t_4$  превысит 150 °С, то КЛЛ может выйти из строя. При включении ламп с ЭПРА предельно допустимой величиной  $t_4$  является 100 °С.

По данным различных изготовителей, оптимальная температура “холодной” точки, при которой  $\Phi_{л}$  не спускается ниже 80 % от начального, лежит в диапазоне от 35 до 65 °С. Для большинства типов КЛЛ серии Dulux фирмы Osram  $t_{xt} = 45$  °С (см. рис. 14).

На рис. 16 показано изменение положения “холодной” точки КЛЛ Biax-S и Biax-T фирмы GE-Lighting при вариации позиции эксплуатации, а на рис. 17 приведена зависимость  $t_{л}$  в трех контрольных точках КЛЛ от  $t_{окр}$  при различных положениях горения.

Сравнительно недавно в ассортименте фирм GE-Lighting, Osram и Philips Lighting появились амальгамные КЛЛ, позволяющие значительно повысить величину и стабильность  $\Phi_{л}$  в процессе эксплуатации в потолочных и встраиваемых светильниках внутреннего освещения при отклонении  $t$  от оптимума. Вместо жидкой ртути внутри разрядной трубки размещается маленькая гранула — амальгамная смесь ртути с металлом — индием и (или) висмутом. Избыток жидкой ртути, в течение работы лампы находящейся в парообразном состоянии, в обычных ЛЛ и КЛЛ поглощается стеклом трубки и загрязняет люминофор, что приводит к уменьшению  $\eta_v$  и увеличению спада  $\Phi_{л}$  к концу срока службы.

Количество ртути, испаряемой из амальгамной гранулы, является функцией рабочего давления в лампе (т. е. температуры "холодной" точки). Таким образом происходит процесс "саморегулирования" выхода максимального  $\Phi_L$  и его стабилизация в значительно более широком диапазоне  $t_{окр}$ . Положение горения и  $t_{окр}$  оказывают существенно меньшее влияние на  $\Phi_L$  и  $\eta_v$  у амальгамных КЛЛ по сравнению с обычными. Наиболее совершенные типы КЛЛ с амальгамой содержат около 3 мг ртути — примерно в 2 раза меньше, чем КЛЛ обычного исполнения. Температурные зависимости  $\Phi_L$  для КЛЛ различных типов проиллюстрированы на рис. 19, 20, 21.

Как видно из этих рисунков, амальгамные КЛЛ излучают более 90 % максимального  $\Phi_L$  в очень широком диапазоне  $t_{окр}$  (от -5 до +65 °C); у обычных КЛЛ этот диапазон значительно уже (+20 — +40 °C, см. рис. 14, 15).

Одной из первых серий амальгамных КЛЛ для внутреннего освещения были лампы Dulux T/IN фирмы Osram. Они были специально разработаны для светильников, в околосветильниковом объеме которых могут развиваться относительно высокие температуры. Поэтому максимальный  $\Phi_L$  эти КЛЛ излучают только при работе в достаточно компактных потолочных или встраиваемых светильниках, где  $t_{окр}$  в зоне размещения КЛЛ составляет примерно от +35 до +65 °C.

В связи с этим при фотометрировании амальгамных КЛЛ в нормальных условиях ( $t_{окр} = 25$  °C) их  $\Phi_L$  может оказаться

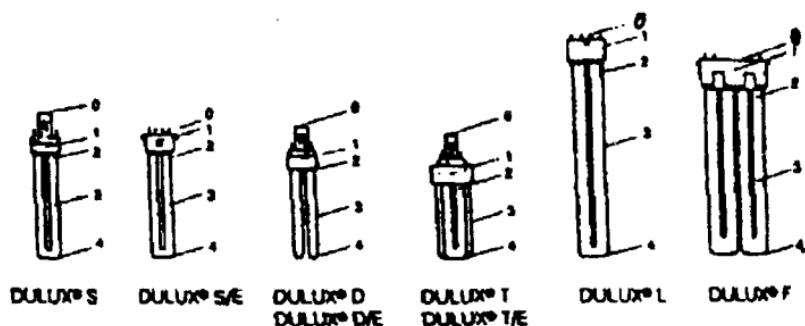


Рис. 18. Контрольные точки измерения температуры на поверхности КЛЛ (см. табл. 6)

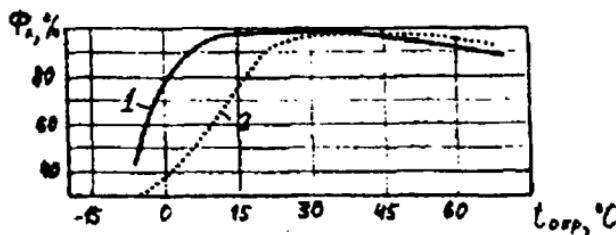


Рис. 19. Температурная зависимость светового потока 6-канальных амальгамных КЛЛ для светильников внутреннего освещения (на примере лампы Dulux T/E IN 18 Вт):  
1 — при горизонтальном положении горения; 2 — цоколем вниз

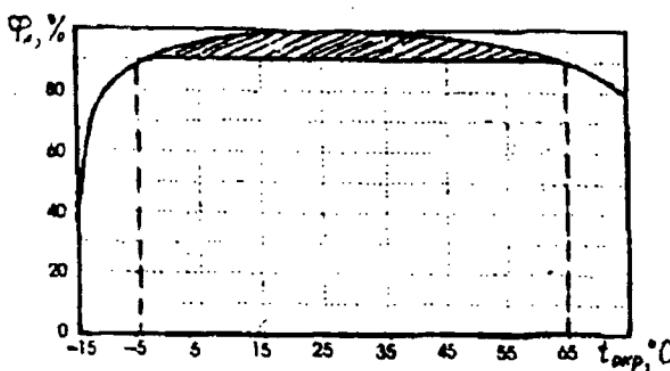


Рис. 20. Температурная зависимость светового потока 8-канальных амальгамных КЛЛ Biах в положении “цоколем вверх”

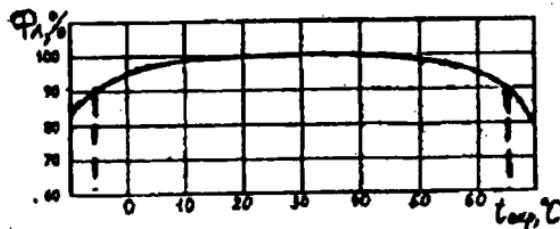


Рис. 21. Температурная зависимость светового потока новой амальгамной КЛЛ 55 Вт из серии 2D (GE-Lighting)

на 10 — 12 % ниже  $\Phi_{\max}$ , указанного в каталоге и отнесенного к упомянутому диапазону более высоких температур.

При наиболее вероятном размещении лампы цоколем вверх в амальгамных КЛЛ “холодная” точка находится не на перегибе разрядных трубок, внизу, а в той их зоне, которая находится внутри цоколя. Поэтому при применении амальгамных КЛЛ необходимо знать  $t_1$  на боковой поверхности цоколя (см. рис. 18), а не  $t_4$ . Предельная величина  $t_1$  для КЛЛ с амальгамой составляет 140 °С: этот максимум установлен соответствующим стандартом МЭК с позиций безопасности, так как его превышение может привести не только к размягчению пластмассы цоколя, но и к нежелательным изменениям электрических характеристик лампы и даже к выходу ее из строя. Интересно, что значение температуры  $t_4$  в месте перегиба разрядных трубок у амальгамных КЛЛ на 15 — 20 °С выше, чем у ламп без амальгамы.

Необходимое изменение температурной зависимости  $\Phi_L$  для светильников наружного освещения с КЛЛ может быть достигнуто и без применения амальгамы. Смещение зоны максимального выхода  $\Phi_L$  в область  $t_{окр} = 0 — +5$  °С получено фирмой Osram в недавно созданных “уличных” КЛЛ 18 и

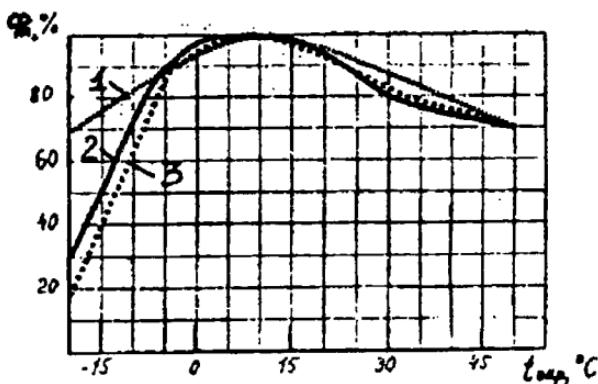


Рис. 22. Температурная зависимость светового потока специальных КЛЛ для светильников наружного освещения:  
1 — цоколем вниз; 2 — горизонтальное положение; 3 — цоколем вверх

24 Вт типа Dulux L/SP за счет изменения положения и формы зоны перегиба разрядных каналов (см. рис. 22). Сдвиг максимума  $\Phi_{\text{л}}$  в область более низких  $t_{\text{окр}}$  у "плоских" КЛЛ типа 2D получается при нахождении ртути в объеме разрядного канала, а обычное положение точки  $\Phi_{\text{макс}}$  ( $t_{\text{окр}} \approx 25^{\circ}\text{C}$ ) у таких КЛЛ достигается в исполнении, когда ртуть размещается в штенгеле.

Представляется полезным при конструировании светильников с КЛЛ, работающими с выносными ПРА, знать, как влияет  $t_{\text{окр}}$  на электрические характеристики ( $I_{\text{л}}, U_{\text{л}}, P_{\text{л}}$ ), а также зависимость  $\Phi_{\text{л}}, \eta_{\text{в}}, I_{\text{л}}, U_{\text{л}}, P_{\text{л}}$  от колебаний питающего  $U_{\text{c}}$  в

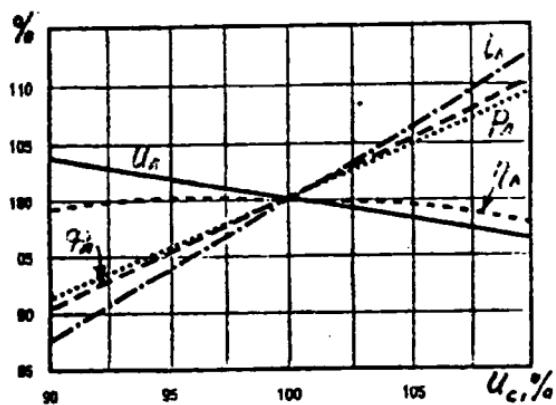


Рис. 23. Типовые зависимости электрических и светотехнических параметров КЛЛ от напряжения сети (данные фирмы Osram)

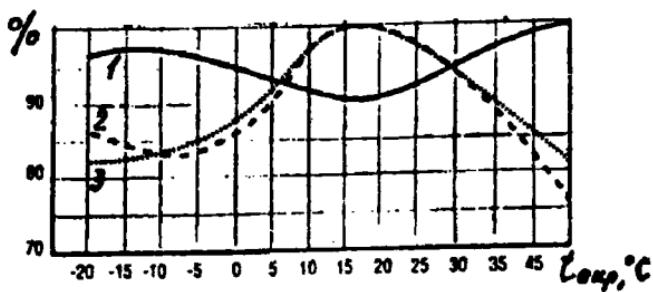


Рис. 24. Зависимость электрических характеристик (1 —  $I_{\text{л}}$ , 2 —  $U_{\text{л}}$ , 3 —  $P_{\text{л}}$ ) от окружающей температуры для КЛЛ с выносным ЭПРА (данные фирмы Osram)

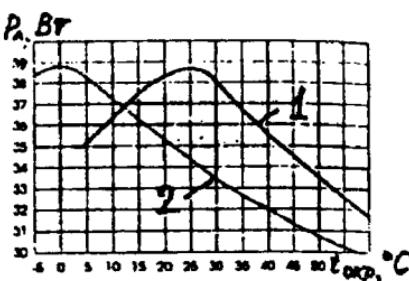
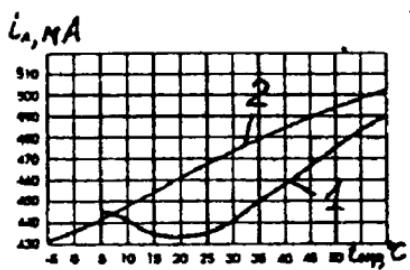
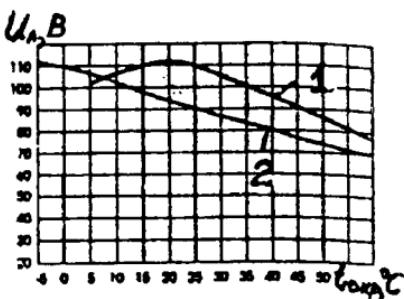
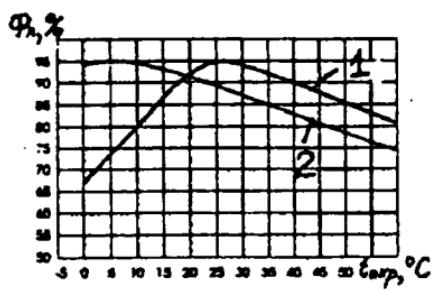


Рис. 25. Зависимость светового потока (а), напряжения на лампе (б), рабочего тока (в) и мощности (г) от окружающей температуры  $t$  для КЛЛ типа 2D мощностью 38 Вт:

1 — при размещении ртути в штенгеле; 2 — при нахождении ртути в разрядной трубке

пределах +10 % от номинала. Такие данные для КЛЛ серии Dulux (Osram) представлены на рис. 23, 24; влияние  $t_{\text{окр}}$  на  $\Phi_L$  и электрические параметры КЛЛ типа 2D (GE-Lighting) проиллюстрировано на рис. 25.

Для обеспечения безопасной эксплуатации светильников международными нормами (Публикации МЭК №№ 598, 432, Европейские нормы EN 60360 и др.) регламентируются определенные ограничения к нагреву отдельных узлов арматуры и зон на поверхности источников света. Тепловой режим светильников при прямой замене в них ЛН на КЛЛ резко улучшается, так как температура в их критических точках в 3–4 раза ниже, чем в аналогичных точках ЛН, сопоставимых по  $\Phi_L$  (табл. 7, рис. 26). Особенno важен тот факт, что у КЛЛ со встроенными ЭПРА температура ранта рубашки цоколя

Таблица 7

## Температура в контрольных точках КЛЛ Dulux EL и ЛН

Источник света	$P_L$ , Вт	$t, ^\circ\text{C}$		
		1	2	3
КЛЛ Dulux EL	5	30	50	37
	7	22	60	44
	11	28	65	47
	15	30	70	48
	20	35	70	51
	23	30	65	49
ЛН общего назначения	40	70	130	65
	60	90	150	75
	75	105	175	85
	100	130	220	100

Измерения температуры проведены при  $U_c = 230$  В на открытых КЛЛ (вне светильника) в спокойном воздухе при  $t_{окр} = 20^\circ$  и положении горения "цоколем вверх"

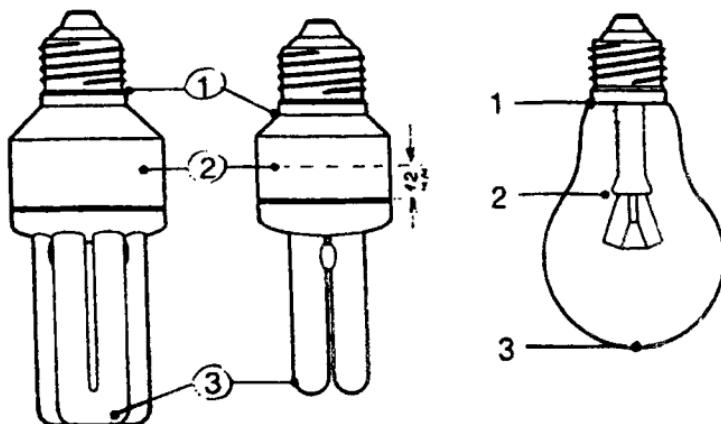


Рис. 26. Контрольные точки сравнительных измерений температуры на поверхности 6- и 4-канальных КЛЛ серии Dulux E (Osram) и ЛН

(точка 1) намного меньше предельно допустимой.

Для защиты от перегрева электронных элементов ПРА, размещенных у КЛЛ группы "Б" в пластмассовом корпусе, и продления их ресурса температура в точке 2 (см. рис. 26) при эксплуатации лампы в светильнике не должна превосходить 85 °С. Данная зона корпуса ПРА, как следует из табл. 7, является наиболее нагретой частью лампы, работающей вертикально "цоколем вверх".

По данным фирмы Osram, оптимальным диапазоном температур наименее нагретой зоны разрядных трубок для КЛЛ серии Dulux EL со встроенным ЭПРА, в котором  $\Phi_L$  сохраняется на уровне не ниже 80 % от максимума, является  $t_{xt} = +35 - +70$  °С; для положения горения "цоколем вверх" это соответствует  $t_{okp} = +5 - +50$  °С, а при работе ламп "цоколем вниз" от -10 °С до +30 °С.

В схемах включения КЛЛ применяются как индуктивные ЭмПРА, так и электронные аппараты ЭПРА с рабочей частотой 20 – 50 кГц, причем отмечается явное преобладание использования ЭПРА, особенно в "интегрированных" лампах группы "Б" (табл. 1).

Преимущества ЭПРА уже хорошо известны, их характеристики постоянно совершенствуются, а ассортимент расширяется.

Первыми разработчиками и изготовителями ЭПРА для КЛЛ в Европе стали в середине 80-х годов фирмы Philips и Osram, а затем были созданы и регулируемые ЭПРА, позволяющие осуществлять плавное изменение  $\Phi_L$  от 100 до 3 – 10 %. Наиболее совершенные типы ЭПРА для КЛЛ, кроме упомянутых двух производителей, выпускаются следующими фирмами: Vossloh-Schwabe, Trilux-Lenze, ABB Brown Boveri, Magne Tek May Christe, Stengel, Huco, Insta, Eckerle, EPV (Германия); Tridonic (Австрия); W. J. Parry Ltd, Thorn Lighting Ltd, Transtar Ltd (Великобритания); Beghelli s.r.l., ERC SPA (Италия); BAG Tigris Electronic, H. Leuenberger AG, Lumatec AG, Starkstrom-Electronic (Швейцария); Helvar (Финляндия); Magnetek, Motorola (США).

В табл. 8 в качестве примера приведены характеристики ЭПРА фирмы Osram, позволяющего включать с ним КЛЛ четырех номиналов мощности – от 9 до 13 Вт.

Специалисты фирмы Osram в [5] обращают особое внимание

Таблица 8

Характеристики универсального электронного ПРА  
**QT-DE 1×9 — 13/30** для КЛЛ (из серии Quictronic фирмы Osram)

Параметры ЭПРА	Тип и мощность КЛЛ			
	Dulux S/E (2-канальная)		Dulux D/E (4-канальная)	
	9 Вт	11 Вт	10 Вт	13 Вт
Питающая сеть:				
переменного тока (1)	230 В, 50/60 Гц			
постоянного тока (2)	230 В			
Допустимые колебания напряжения в сети:				
(1)	198 — 254 В			
(2)	176 — 254 В			
Мощность, потребляемая комплексом "КЛЛ+ЭПРА", Вт	12	14	12	14
Экономия по сравнению со схемой включения с ЭмПРА, Вт	1	2	3	3
Сетевой ток, мА	53	62	53	62
Частота рабочего тока, кГц	40			
Коэффициент мощности (емк.)	0,97			
Рабочий диапазон температуры, °C	-15 — +50			
Габариты, мм:				
длина	93			
ширина	58			
высота	28			
Световой поток КЛЛ при включении, лм				
с ЭПРА	600	850	600	850
с ЭмПРА	600	900	600	900

на уточнении понятия коэффициента мощности высокочастотной цепи "лампа-ПРА" применительно к КЛЛ со встроенными ЭПРА. Используемый в теоретической электротехнике термин "коэффициент мощности" ( $\cos \varphi$ ) характеризует сдвиг фаз между сетевым током  $I_c$  и напряжением  $U_c$  и справедлив, строго говоря, только для основной синусоидальной составляющей при частоте 50 Гц. Фазовый сдвиг между высшими гармониками, возни-

кающими из-за несинусоидальной формы  $I_c$  при этом не учитывается. Истинный коэффициент мощности высокочастотной цепи "КЛЛ — встроенный ЭПРА" определяется как  $\lambda_P = P_a / (I_3 U_3)$ , где  $P_a$  — активная мощность, потребляемая лампой вместе с ЭПРА;  $I_3$ ,  $U_3$  — эффективные значения тока и напряжения. У КЛЛ серии Dulux EL и других подобных ламп, как правило,  $\lambda_P$  не превышает 0,5, что является результатом искаженного по форме (несинусоидального) тока сети, содержащего высокочастотные гармонические составляющие. Таким образом, для КЛЛ со встроенным ПРА коэффициент мощности  $\lambda_P$  не может определяться только сдвигом фаз ( $\cos\varphi$ ), как в случае компоненты частотой 50 Гц. По этой причине традиционный для схем включения ЛЛ метод компенсации коэффициента мощности с помощью конденсатора в рассматриваемом случае непригоден.

Потребление электроэнергии КЛЛ со встроенными ЭПРА составляет только 20 % от сравнимой по световому потоку ЛЛ. Расход электроэнергии при работе КЛЛ не зависит от коэффициента мощности схемы и определяется только активной мощностью, фиксируемой обычным электросчетчиком. По сравнению с ЛН фактическое потребление тока у КЛЛ из-за невысокого коэффициента мощности  $\lambda_P \approx 0,5$  снижается не до 20, а до 40 %. Но и это обуславливает соответственно снижение потерь в линии между источником питания и потребителем и дает дополнительную экономию.

Необходимость и степень компенсации реактивной мощности в схемах питания КЛЛ с индуктивным ЭмПРА регламентирована Европейскими нормами EN 601000-3-2. Емкость компенсирующих конденсаторов составляет от 1,7 мкФ (для КЛЛ мощностью 11 Вт) до 4,4 мкФ (для ламп мощностью 36 Вт).

После общего анализа важнейших характеристик современных КЛЛ, обратимся к параметрам и специфическим особенностям конкретных типов ламп, разработанных в последние годы.

Четырехканальная КЛЛ со встроенным ЭПРА мощностью 9 Вт типа PLE-C фирмы Philips Lighting, была удостоена за дизайн и энергоэкономичность специального приза Ганноверской ярмарки в 1997 г. (см. рис. 27). Она имеет рекордно малую для этого класса КЛЛ полную длину — 111 мм при цоколе Е27 и 114 мм — при Е14, что примерно на 15 — 20 мм меньше длины КЛЛ аналогичной мощности фирм Osram и GE-Lighting.

Увеличение числа разрядных каналов с четырех до шести позволило уменьшить полную длину КЛЛ, работающих с выносными ПРА, на 25 — 35 мм (табл. 9).

Таблица 9

**Сравнение полной длины 4-канальных и 6-канальных КЛЛ равной мощности, включаемых с выносными ЭПРА**

Мощность, Вт	Фирма Philips		Фирма Osram	
	4-канальные тип PL-C/4р	6-канальные тип PL-T/4р	4-канальные тип Dulux D/E	6-канальные тип Dulux T/E
Полная длина, мм				
18	144	117	146	116
26	165	127	166	131

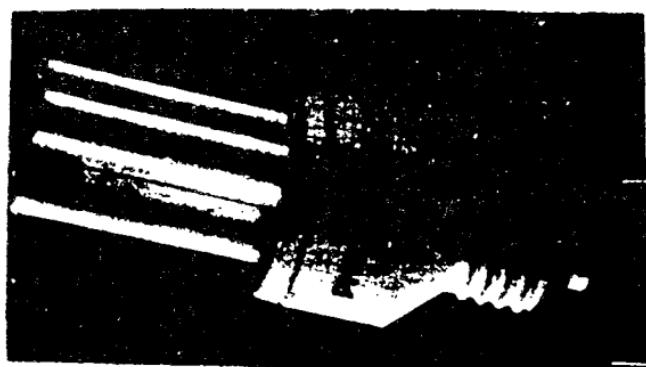


Рис. 27. Четырехканальная КЛЛ из серии PLE-C фирмы Philips Lighting (9Вт) — призер конкурса дизайна Ганноверской ярмарки 1997 г.

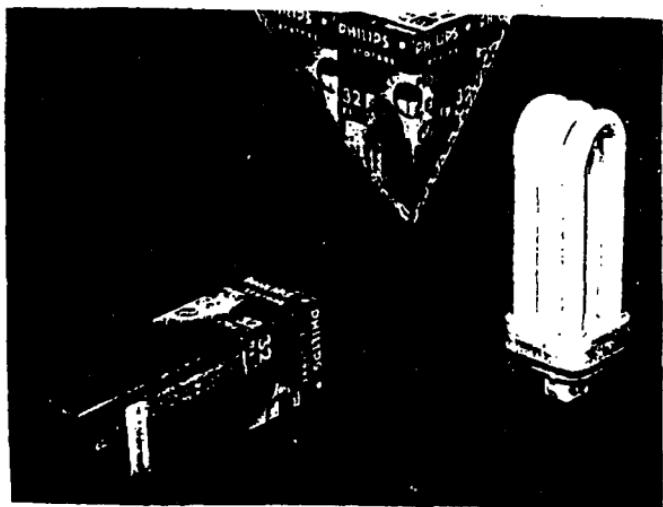


Рис. 28. Шестиканальная амальгамная КЛЛ мощностью 32 Вт из серии PL-T/4р "Constant Light" (Philips Lighting)

Таблица 10

Параметры амальгамных 6-каиальных КЛЛ с выносными ЭПРА: серий PL-T/4р "Constant Light" (Philips Lighting) и Dulux T/E-IN (Osram)

$P_{\text{п}}, \text{ Вт}$	18 **	26 **	32	42
$\Phi^*, \text{ лм}$	1200	1800	2400	3200
$l, \text{ мм}$	111 — 117	125 — 127	142	159 — 163
$d, \text{ мм}$	56 — 61	56 — 61	56 — 61	50 — 60
$t, \text{ ч}$			10 000	
$T_{\text{ц}}, \text{ К}$			2700, 3000, 4000	
Цоколь	GX24q-2	GX24q-3	GX24q-3	GX24q-4

\* При  $t_{\text{окр}} = +15 - 45^{\circ}\text{C}$  световой поток равен 100 %; в диапазоне от  $-5^{\circ}\text{C}$  до  $+50^{\circ}\text{C}$  снижение не превышает 10 % от номинала. В диапазоне от  $-10^{\circ}\text{C}$  до  $+70^{\circ}\text{C}$  излучается не менее 80 % от  $\Phi_{\text{ном}}$ .

\*\* Эти КЛЛ могут снабжаться цоколем GX24d-2 (...-3) для включения с ЭМПРА и выносным стартером, при этом  $t = 8000\text{ч}$ .

Применив 8-канальную конструкцию в КЛЛ Biax Q/E 42 Вт, фирма GE-Lighting снизила ее длину по сравнению с 6-канальными КЛЛ той же мощности фирм Philips и Osram на 6 — 9 мм (см. рис. 30 и табл. 10).

Общий вид новых 6-канальных КЛЛ типа PL-T/4р, светящее тело которых образовано тремя плотно прилегающими друг к другу U-образными разрядными трубками, представлен на рис. 28, а основные параметры всей серии ламп — в табл. 10.

Другой вариант пространственной компоновки шести разрядных каналов в новых КЛЛ недавно представила на европейском рынке крупнейшая японская корпорация Matsushita Electric под торговой маркой Panasonic (серия FHT, 18, 26, 32 Вт, см. табл. 11).

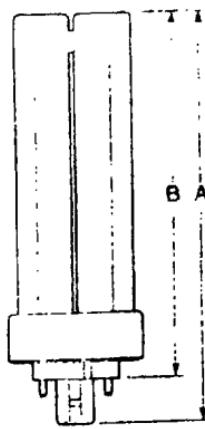
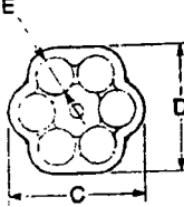
Большой интерес представляют самые последние разработки КЛЛ фирмы GE-Lighting, в том числе амальгамные лампы со штифтовыми цоколями и выносным ЭПРА мощностью от 13 до 42 Вт (см. рис. 29, 30) и лампы со встроенным ЭПРА и цоколем Е27 мощностью 15 — 23 Вт (см. рис. 31, 32). Основные преимущества этих КЛЛ:

- в диапазоне  $t_{окр}$  от -5 до +65 °C лампы излучают не менее 90 % от  $\Phi_{макс}$  (высокая эффективность при применении в закрытых светильниках внутреннего и наружного освещения);
- при включении с регулируемыми ЭПРА возможно плавное изменение  $\Phi_{л}$  в пределах от 100 до 10 % от номинала;
- выход  $\Phi_{л}$  не зависит от положения эксплуатации;
- количество ртути в разрядных трубках минимизировано (<4 мг) за счет новых технологий дозировки;
- электрические и световые характеристики соответствуют таковым у амальгамных КЛЛ фирм Osram и Philips;
- лампы GE-Lighting могут включаться с ЭПРА фирм Osram, Tridonic, Nuco и других европейских изготовителей.

Амальгамная технология использована и в новейшем типе КЛЛ с усовершенствованным встроенным ЭПРА, разработанным GE-Lighting совместно с фирмой Magne Tek (США). Специальное схемное решение и применение новых электронных комплектующих элементов позволяют добиться высокого фактического коэффициента мощности  $\lambda_P \approx 0,93$  за счет снижения нелинейных искажений высокочастотных гармонических составляющих тока (у стандартных КЛЛ со встроенным ЭПРА фирмы GE-Lighting

Таблица 11

Параметры 6-канальных КЛЛ серии FHT-Panasonic, включаемых с выносными ЭПРА (Matsushita Electric, Япония)

	$P_{л}$ , Вт	$\Phi_{л}$ , лм	$T_{ц}^*$ , К	$\tau$ , ч	Размеры, мм					Цо- коль
					A	B	C	D	E	
	18	1200	3000 5000	10 000	114	98	49	45	23	GX24-q2
	26	1800	3000 5000	10 000	128,5	112,5	49	45	13	GX24-q3
	32	2400	3000 5000	10 000	145	129	49	45	13	GX24-q3

\*  $R_a = 84$  (для всех типоразмеров)

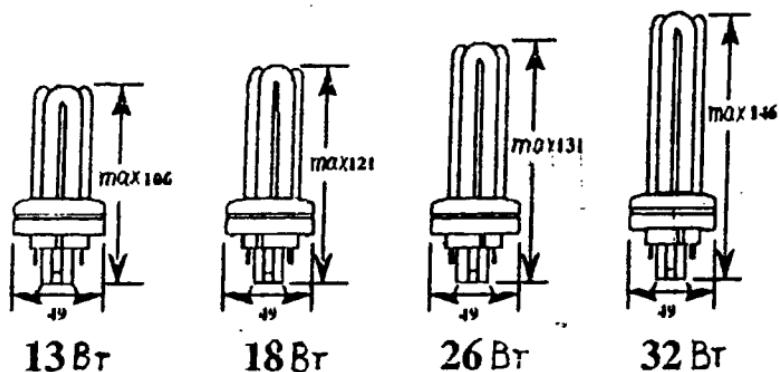


Рис. 29. Габариты амальгамных КЛЛ фирмы GE-Lighting, включаемых с выносными ПРА (серия Biax T/E)

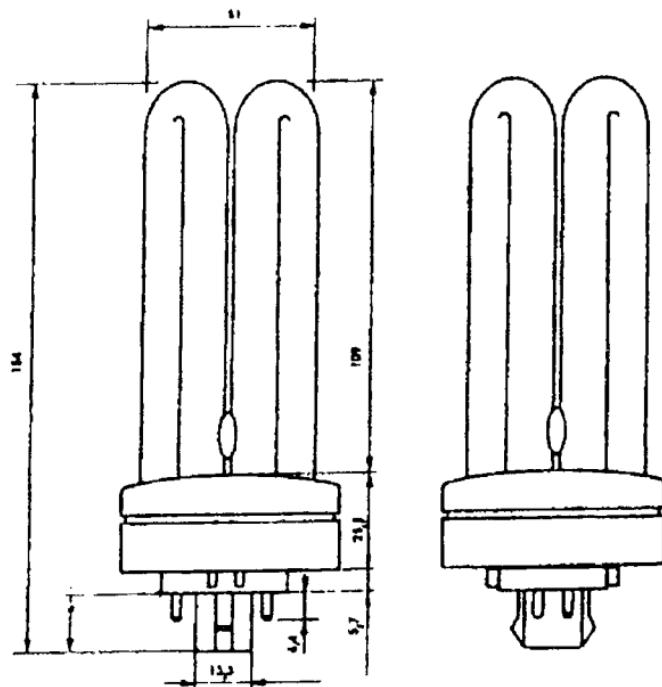


Рис. 30. Восьмиканальная амальгамная КЛЛ Biax Q/E (42 Вт) для включения с выносным ЭПРА

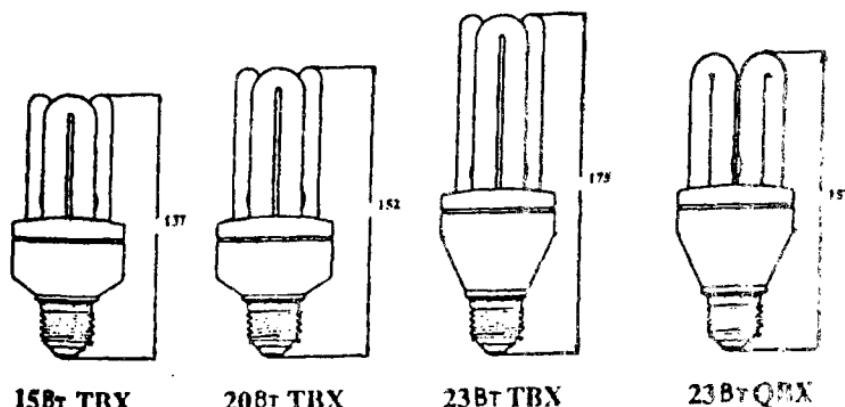


Рис. 31. Новые типы амальгамных КЛЛ со встроенным ЭПРА фирмы GE Lighting (диаметр корпуса ПРА у всех ламп 58 мм)

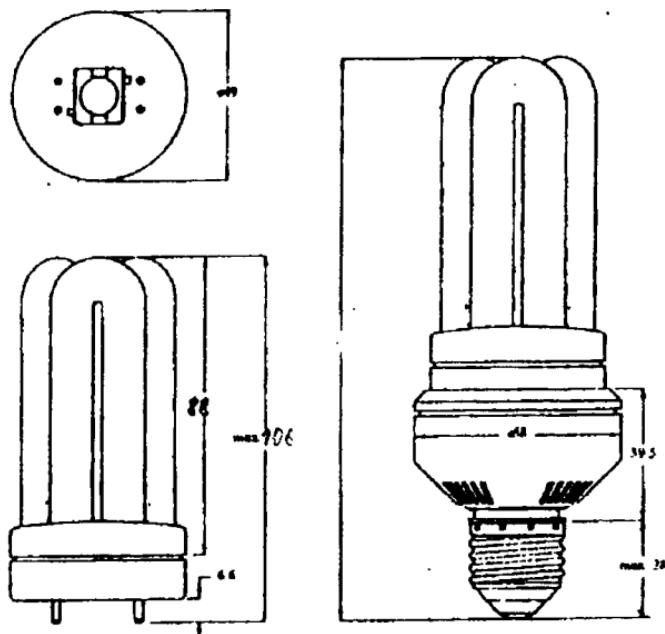


Рис. 32. Разъемная шестиканальная КЛЛ из серии ТВХ мощностью 15 Вт с адаптером:

а — блок разрядных трубок со специальным четырехштифтовым цоколем; б — лампа в адаптере с ЭПРА и цоколем Е27 (фирма GE-Lighting, разработка 1998 г.)

этот параметр равен 0,43, фирмы Osram — 0,5). Из данных табл. 12 видно, что массовое применение КЛЛ с ЭПРА и высоким коэффициентом мощности может примерно на 50 % снизить мощность питающих генераторов и эмиссию СО в атмосферу.

В 1998 г. фирма GE-Lighting объявила о начале серийного производства разборных амальгамных КЛЛ мощностью 13 и 18 Вт с электронным адаптером, снабженным цоколем Е27 (см. рис. 33 и табл. 13). Срок службы ЭПРА, размещенного в адаптере, составляющий 40 тыс. ч допускает 4-кратную замену в светильнике 6-канального блока разрядных трубок с  $\tau = 10$ . тыс. ч. Специальная конструкция 4-штифтового цоколя позволяет надежно фиксировать блок разрядных трубок в контактном гнезде патрона адаптера. ЭПРА адаптера потребляет всего 2 Вт, таким образом при установке в адаптере суммарная мощность комплекта составляет 15 и 20 Вт; эти КЛЛ, имеющие

Таблица 12

**Сравнительные электрические характеристики стандартной КЛЛ со встроенным ЭПРА и новой КЛЛ с ЭПРА, обеспечивающим повышенный коэффициент мощности (GE-Lighting)**

Параметр	Стандартная КЛЛ Biax Electronic	Новая КЛЛ Biax HPX
Напряжение, В	230	230
Активная мощность, потребляемая лампой и ЭПРА, Вт	18,5	18,5
Эффективное значение рабочего (сетевого) тока, А	0,185	0,086
Коэффициент мощности цепи "лампа — ЭПРА", $\lambda_P(b/a \times v)$	0,43	0,93
Мощность, расходуемая генератором на питание цепи "лампа — ЭПРА", ( $a \times v$ ), ВА	42,55	19,78

Таблица 14

**Основные параметры новых амальгаминых 6-канальных разборных КЛЛ (с адаптером) фирмы GE-Lighting — комплект Electronic Biax T/E/HPF-Lamp and Adapter с повышенным коэффициентом мощности**

Напряжение сети, В	220 — 240	
Потребляемая мощность, Вт		
без адаптера (сменяемый блок разрядных трубок)	13	18
с ЭПРА в адаптере	15	20
Световой поток, $\Phi_L$ , лм	900	1200
Цветовая температура $T_{ц}$ , К	2700, 3000, 3500, 4000	
$R_a$	82	
Рабочий (сетевой) ток (эфф.) $i_L$ , мА	73	86
Коэффициент мощности $\lambda_P$	0,913	0,942
Средний срок службы, ч		
блок разрядных трубок	10 000	
ЭПРА адаптера	40 000	
Полная длина (с адаптером), мм	150	165
Диаметр корпуса адаптера, мм	58	58

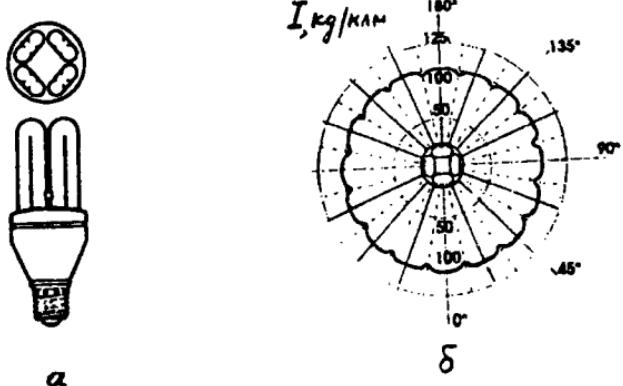


Рис. 33. Восьмиканальная амальгамная КЛЛ типа QBX мощностью 23 Вт фирмы GE-Lighting:  
а — общий вид; б — КСС в поперечной плоскости

высокий коэффициент мощности, по величине  $\Phi_L$  заменяют ЛН соответственно 75 и 100 Вт.

Число параллельных каналов разрядной трубки КЛЛ, очевидно, имеет предел, ограниченный конструкционными и технологическими возможностями: повышение количества каналов более 8 при диаметре трубок 12 — 17 мм вызывает недопустимое увеличение поперечного размера лампы в приспособленной зоне.

Поэтому весьма перспективным направлением миниатюризации КЛЛ, предназначенных для прямой замены ЛН, является разработка так называемых спиральных ламп. Форма разрядной трубки в виде геликоида с тем или иным числом витков позволяет образовать компактное и осесимметричное светящее тело, уменьшить полную длину КЛЛ, свести к минимуму потерю светового потока за счет снижения взаимной экранировки отдельных участков трубки. По форме КСС в двух основных плоскостях спиральные КЛЛ максимально приближаются к светораспределению ЛОН, что повышает эффективность работы зеркальных отражателей, например, во встраиваемых или потолочных светильниках прямого света. Из-за уменьшенной длины такие КЛЛ вписываются в габариты существующих бытовых

светильников различного назначения.

КЛЛ со спиралевидным разрядным каналом, приоритет в изобретении которых принадлежит профессору, доктору Вальтеру Хольцеру — члену Директората института новых технологий ООН, были впервые показаны в экспозиции Ганноверской ярмарки 1991 г. фирмой Prolite Ges. fur Lichttechnik mbH [9].

В 1994 г. промышленный выпуск серии спиральных КЛЛ Narva Tronic мощностью от 9 до 23 Вт со встроенным ЭПРА и цоколем Е 27 был начат германской фирмой Narva Brand — Erbisdorf (табл. 14). По величине  $\Phi_L$  лампы Narva Tronic эквивалентны ЛОН мощностью от 40 до 100 Вт и имеют по сравнению с "прямыми" 4- и 6-канальными КЛЛ (с ЭПРА и цоколями Е27) значительно меньшую длину — на 15 — 25 мм, что очень важно при замене ими ЛН в действующих светильниках\*. Спиральные КЛЛ описываемой серии надежно зажигаются при низких  $t$  (лампа 23 Вт до  $-20^{\circ}\text{C}$ , лампы 9, 11, 15, 20 Вт — до  $-30^{\circ}\text{C}$ ), это позволяет использовать их в декоративных уличных светильниках в странах северных регионов.

В 1995 г. фирма GE-Lighting объявила о завершении разработки "мощной" 4-витковой спиральной КЛЛ Heliax 32 Вт ( $\Phi_L = 2400$  лм,  $\tau = 10$  тыс. ч,  $d = 61$  мм,  $l = 125$  мм, цоколь GX24q-3) для включения с выносным ЭПРА и показала ее на Ганноверской ярмарке. Полная длина этой КЛЛ оказалась на 25 мм короче 6-канальной КЛЛ 32 Вт Biax T/E с тем же цоколем.

В появившейся недавно информации [T. Sacks. GE winds up Heliax spiral CFL project; "Electrical Review", (Gr. Brit.), 1997, № 16, стр. 3] сообщается, что фирма GE-Lighting отказалась от дальнейших действий по продвижению на рынок КЛЛ Heliax в связи с тем, что их себестоимость, а, следовательно, и цена оказались неприемлемо высокими даже при крупносерийном производстве. Высвобождающиеся ресурсы фирма направила на освоение новых более перспективных моделей КЛЛ.

Анализ спроса на спиральные КЛЛ показал, что интерес к ним со стороны потребителей растет как в континентальной Европе, так и в Великобритании и скандинавских странах. Спи-

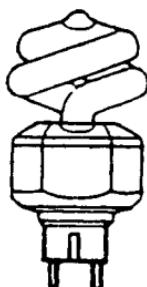
\* Полная длина КЛЛ Narva Tronic 23 Вт составляет 145 мм, 8-канальная КЛЛ той же мощности фирмы GE-Lighting имеет длину 158 мм



Таблица 14

Параметры спиральных КЛЛ серии NARVA TRONIC со встроеными ЭПРА фирмы NARVA Brand-Erbisdorf (Германия)

$P_{л}$ , Вт	$T_{ц}$ , К	$R_a$	$\Phi_{л}$ , лм	$\tau$ , ч	Размеры, мм		Цоколь
					$l$	$d$	
9	6000	80	375	10 000	115	60	E27
	6000	90	320		115		
	2700	80	400		132		
11	6000	80	565	10 000	132	60	E27
	6000	90	480		132		
	2700	80	600		145		
15	6000	80	850	10 000	132	60	E27
	6000	90	720		132		
	2700	80	900		132		
20	6000	80	1150	10 000	132	60	E27
	6000	90	960		132		
	2700	80	1200		132		
23	6000	80	1450	10 000	145	60	E27
	6000	90	1200		145		
	2700	80	1500		145		



Примечание: спиральные КЛЛ выпускаются в модификации NARVA TRONIC Safe с новым типом безопасного 2-штифтового цоколя Н19 для установки в электронный адаптер, снабженный резьбовым цоколем Е27;  $P_{л} = 9 - 23$  Вт,  $\Phi_{л} = 400 - 1500$  лм; срок службы КЛЛ — 10 000 ч, адаптера — 30 000 ч.

ральные КЛЛ уже продаются и на рынке стран Дальневосточного региона, в частности, в Южной Корее.

“Интеллектуальные” КЛЛ со встроенным ЭПРА и фотосенсором, встроенным в схему лампы и автоматически коммутирующим цепь питания при определенном уровне внешней засветки, выпущены фирмами Sylvania (Mini-Lynx Automatic, 11 и 15 Вт) и Osram (Dulux EL Sensor, 15 Вт). Порог срабатывания фотореле может быть установлен на необходимый уровень наружной естественной освещенности, например 50 лк. При этом КЛЛ автоматически начнет функционировать в сумерки при снижении естественной освещенности до указанного значения и также автоматически отключится на рассвете, когда заданный уровень наружной засветки будет превышен. Области применения КЛЛ с фотосенсором: охранное и дежурное освещение помещений со светопроемами; светильники наружного освещения придомовых зон, номерные знаки зданий и т.д. Начальная цена таких КЛЛ у фирмы Sylvania составляла 20 фт. ст.

Преобладающим регионом сбыта источников света фирмы Sylvania является Северная Европа, в первую очередь Великобритания, скандинавские страны. Здесь в быту и в общественных зданиях отдают предпочтение теплым оттенкам освещения. Поэтому фирма осуществила синтез специальных люминофоров для КЛЛ с пастельными тонами излучения (“Rose” и “Apricot”), которые применены в модификациях ламп 11 и 15 Вт с ЭПРА (Mini-Lynx pastel). Коррелированная  $T_u$  у “пастельных” КЛЛ равна 1900 — 2200 К, их  $\Phi_l$  на 25 — 30 % ниже, чем у стандартных КЛЛ той же мощности с  $T_u = 2700$  К, средняя продолжительность горения составляет 12 тыс. ч. Новые КЛЛ могут быть использованы в декоративных светильниках в жилом интерьере, в гостиницах, кафе, ресторанах, отелях для создания “теплой” и “уютной” световой среды. Характеристики двух новых серий КЛЛ фирмы Sylvania с увеличенным  $\tau$  приводятся в табл. 15.

В группе КЛЛ со встроенным ПРА, резьбовым цоколем и внешней светорассеивающей оболочкой для прямой замены ЛН в 1996 — 1998 гг. появилось еще несколько заслуживающих внимания новых модификаций, обозначивших стремление производителей максимально приблизить форму КЛЛ (расчетанных на потребление главным образом в бытовом секторе), к привычной для массового пользователя форме ЛН общего назначения.

Новые КЛЛ грушевидной формы серии Ecotone Ambiance фирмы Philips Lighting (см. рис. 34 и табл. 16) стали призерами двух конкурсов дизайна на Ганноверской ярмарке в 1998 г.: за технические характеристики и внешнюю форму (IF Product Design Award). Серия включает лампы мощностью от 5 до

Таблица 15

**Параметры 4-канальных КЛЛ со встроенными ЭПРА серий Mini-Lynx Professional и Mini-Lynx Instant фирмы Sylvania**

$P_{\text{л}}, \text{ Вт}$	$\Phi_{\text{л}}, \text{ лм}$	$T_{\text{ц}}, \text{ К}$	$\tau^*, \text{ ч}$	Размеры, мм		Масса, г	Цоколь
				$l$	$d$		
7	460			137		73	
11	600	2700,		137		75	E27
15	900	6000	12 000	165		88	или B22
20	1200			176		120	

\* Для КЛЛ серии Mini-Lynx Instant —  $\tau = 5$  лет при ежедневной наработке 4 — 5 ч; эти лампы включаются практически мгновенно (0,5 с)

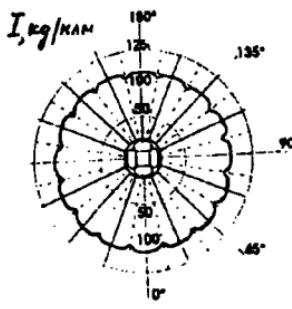
Таблица 16

**Параметры КЛЛ грушевидной формы со встроенным ЭПРА серии Ecotone Ambiance фирмы Philips Lighting**

$P_{\text{л}}, \text{ Вт}$	$\Phi_{\text{л}}, \text{ лм}$	$T_{\text{ц}}, \text{ К}$	$R_a$	$\tau, \text{ ч}$	Размеры, мм		Цоколь
					$l$	$d$	
5	200				132	65	
9	400				132	65	
11	600	2700	82	6000	132	65	E27
15	900				132	70	



*α*



*δ*

Рис. 34. Новая КЛЛ из серии "Ecotone Ambience" (Philips)

Таблица 17

**Параметры КЛЛ грушевидной формы со встроенным ЭПРА серии Mini-Lynx Ambience фирмы Sylvania**

$P_L$ , Вт	$\Phi_L$ , лм	$T_C$ , К	$R_a$	$\tau^*$ , ч	Размеры, мм		Масса, г	Цоколь
					$l$	$d$		
7	360	2700	82	6000	140	68	120	E27
11	500							

15 Вт с цоколями E27 или B22, эквивалентные по величине  $\Phi_L$  стандартным ЛОН мощностью соответственно от 25 до 75 Вт. По оценке разработчика, при средней ежедневной наработке 3,5 ч эти КЛЛ могут прослужить в бытовом светильнике около 5 лет, что соответствует среднему сроку службы примерно 6 тыс. ч. Диаметр колбы КЛЛ новой серии не превышает 70 мм, а длина — не более 147 мм.

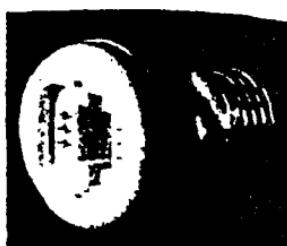
Фирма Silvania в 1998 г. начала выпуск первых двух модификаций (7 и 11 Вт) грушевидных КЛЛ со встроенным ПРА из новой серии Mini-Lynx Ambience (табл. 17).

В начале 1998 г. на германском рынке появились разработанные фирмой Osram КЛЛ серии Dulux EL Classic с ЭПРА и цоколем E27, по форме оболочки и внешнему виду практически не отличающиеся от грушевидных ЛН с матированной колбой. Пока выпущены лампы мощностью только 7 и 11 Вт, заменяющие по  $\Phi_L$  обычные ЛН 40 и 60 Вт, готовятся к производству аналогичные КЛЛ этой серии мощностью 15 Вт. Габариты КЛЛ Dulux EL Classic мощностью 11 Вт: диаметр колбы — 75 мм, полная длина — 164 мм, диаметр прицокольной зоны (корпуса с ЭПРА) — 50 мм. По предварительным оценкам, при ежесуточном времени работы 3 ч срок службы этих КЛЛ может достигать более 12 лет (!).

В 1998 г. фирма Osram сообщила также о разработке новых модификаций своих КЛЛ со встроенным ЭПРА мощностью 20 и 23 Вт — Dulux EL Vario ( $\tau = 12$  тыс. ч). Эти КЛЛ, рассчитанные в основном на применение в бытовых светильниках местного освещения, могут работать в двух режимах: nominalном и со сниженной на 50 % мощностью без применения специального внешнего темнителя. Переключение режимов работы КЛЛ осуществляется пользователем путем поворота в оп-



а



б

Рис. 35. КЛЛ с внешней оболочкой серии Ecolamp (фирма Solalight, Великобритания):

а — со встроенным ЭПРА и цоколем Е27; б — адаптер под колбу с цоколем G24q

Таблица 18

Параметры грушевидных КЛЛ  
серии Ecolamp фирмы Solalight (Великобритания)

$P_L$ , Вт	$\Phi_L$ , лм	$T_{ц}$ , К	$\tau$ , ч	Размеры, мм					
				Типы цоколей					
				E27		B22		G24q-1	
				$l$	$d$	$l$	$d$	$l$	$d$
7	350	2500		154	68	150	68	125	68
9	500	2700	8000	154	68	150	68	125	68
11	750	4300		154	68	166	68	135	68

пределенном угловом диапазоне блока разрядных трубок относительно корпуса с ЭПРА.

Новые КЛЛ серии Eco Lamp фирмы Solalight (Великобритания) с грушевидной декоративной колбой из матированной пластмассы (см. рис. 35 и табл. 18) выпущены с различными типами цоколей. Лампы, снабженные цоколем G24q, предназначены для установки в адаптер, показанный на рис. 35, б; он имеет встроенный ЭПРА и цоколь Е27, с помощью которого ввинчивается вместо ЛН в патрон действующего светильника.

Фирма Bailey Electric and Electronic (Нидерланды), специализированная в основном на производстве миниатюрных и специальных ЛН, показала в экспозиции Ганноверской ярмарки 1998 г. свою последнюю разработку: грушевидные КЛЛ с  $\tau = 8000$  ч, мощностью 7, 9, 11 Вт на напряжение питающей

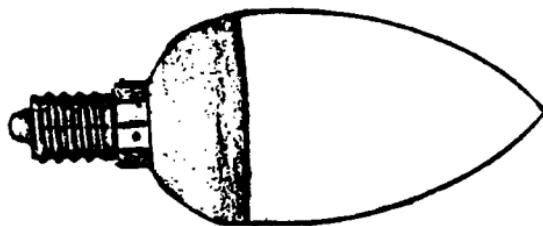


Рис. 36. Super-mini-Eco-Watts — самая миниатюрная КЛЛ со встроенным ЭПРА

Таблица 19

Параметры маломощных свечевидных КЛЛ со встроенным ЭПРА серии Mini-Eco-Watts фирмы Girard-Sudron (Франция)



$P_L$ , Вт	$\Phi_L$ , лм	$T_C$ , К	$\tau$ , ч	$R_a$	Размеры, мм		Цоколь
					$l$	$d$	
3	100		8000		104	41	E14
5	200	2900	10 000	85	150	50	E14
7	350		10 000		158	55	E14
					160	55	E27
							B22

сети 220 — 240 В. Диаметр опаловой колбы этих ламп 60 — 70 мм, а полная длина с цоколем E27 — 135—145 мм.

Самая маломощная КЛЛ со свечевидной колбой и цоколем E14 была впервые показана на Ганноверской ярмарке в 1996 г. французской фирмой Girard-Sudron (Париж). Эта КЛЛ типа Super-mini-Watts, воспроизведенная на рис. 36, снабжена миниатюризованным ЭПРА и потребляет вместе с ним мощность 3 Вт ( $\Phi_L \approx 100$  лм); ее длина — 104 мм при диаметре колбы 41 мм; масса лампы — 36 г. В 1997 — 1998 гг. фирма расширила серию свечевидных КЛЛ Mini-Eco-Watts (табл. 19), в которую теперь входят лампы с витой и пламеобразной колбой с цоколем E14 и E27 и сроком службы 8 — 10 тыс. ч.

Таблица 20

Параметры маломощных свечевидных КЛЛ со встроенным ЭПРА серий Mini-Lynx Candle фирмы Sylvania

$P_{\text{л}}, \text{ Вт}$	$\Phi_{\text{л}}, \text{ лм}$	$T_{\text{ц}}, \text{ К}$	$R_a$	$\tau^*, \text{ ч}$	Размеры, мм		Масса, г	Цоколь
					$l$	$d$		
3	135	2700, 6000	82	8000	108	41	60	E14
5	250				1108	41		E14

Выпуск маломощных свечевидных КЛЛ (3 и 5 Вт) начат также фирмами Osram и Sylvania (серия Mini-Lynx Candle, табл. 20). Подобные миниатюрные КЛЛ предназначены для установки в декоративных многоламповых бытовых светильниках, и могут быть использованы для дежурного и охранного освещения, а также для освещения небольших вспомогательных помещений.

Призом за дизайн и энергоэкономичность в 1998 г. жюри Ганноверской ярмарки отметило серию КЛЛ мощностью от 10 до 25 Вт со сферическими и цилиндрическими опаловыми светорассеивающими оболочками, встроенным ЭПРА и цоколем E27, освоенную в серийном производстве Matsushita Electric под всемирно известной маркой Panasonic (табл. 21). Лампы выпущены с двумя вариантами цвета излучения — тепло-белого и дневного света, они имеют высокое качество цветопередачи ( $R_a = 85 — 88$ ) и большой срок службы.

В особую группу выделяются производимые немногими фирмами КЛЛ со встроенным ЭПРА и направленным излучением, предусмотренные разработчиками для замены зеркальных ЛН во встраиваемых потолочных и подвесных светильниках прямого света, а также в осветительных приборах экспозиционного освещения.

Весьма удачное сочетание светотехнических параметров и геометрических характеристик найдено фирмой Osram в КЛЛ серии Dulux EL Concentra 11, 15 и 20 Вт (см. рис. 37 и табл. 22), которые по величинам светового потока и осевой силы света приблизительно адекватны зеркальным ЛН типа R80 мощностью соответственно 40, 60 и 75 Вт с 50 %-ным углом рассеяния светового пучка  $2\alpha = 80^\circ$ . Разрядные трубы в КЛЛ Dulux EL Concentra расположены горизонтально, колба

Таблица 21

Параметры КЛЛ серии Panasonic Mini Decr  
со встроенными ЭПРА и декоративной светорассеивающей  
оболочкой фирмы Matsushita Electric (Япония)

Тип	$P_{л'}$ Вт	$T_u$ , К	$\Phi_{л'}$ лм	$R_a$	$\tau$ , ч	Размеры, мм		Мас- са, г
						$l$	$d$	
EFG10E28		10	2800	500	84	132	95	160
EFG10E50			5000	480	88			
EFT10E28			2800	500	84	137	60	130
EFT10E50			5000	480	88			
EFG15E28		15	2800	820	84	132	95	160
EFG15E50			5000	780	88			
EFT15E28			2800	820	84	137	60	130
EFT15E50			5000	780	88			
EFT20E28		20	2800	1160	84	160	95	150
EFT20E50			5000	1100	88			
EFG25T28		25	2800	1320	84	137	60	180
EFG25T50			5000	1280	88			
EFT25E28			2800	1470	84	151	60	
EFT20E28			5000	1410	88			

С вентиляционными отверстиями внутри имеет белое диффузно-отражающее покрытие. Нижний пояс колбы с круглым открытым выходным отверстием из опаловой пластмассы создает необходимый защитный угол и снижает видимую яркость. Эти КЛЛ тепло-белого света очень удобны для использования во встроенных в подвесные потолки, потолочных и подвесных светильниках, в интерьерах общественных и жилых помещений.

Естественно, что подобные КЛЛ из-за больших размеров

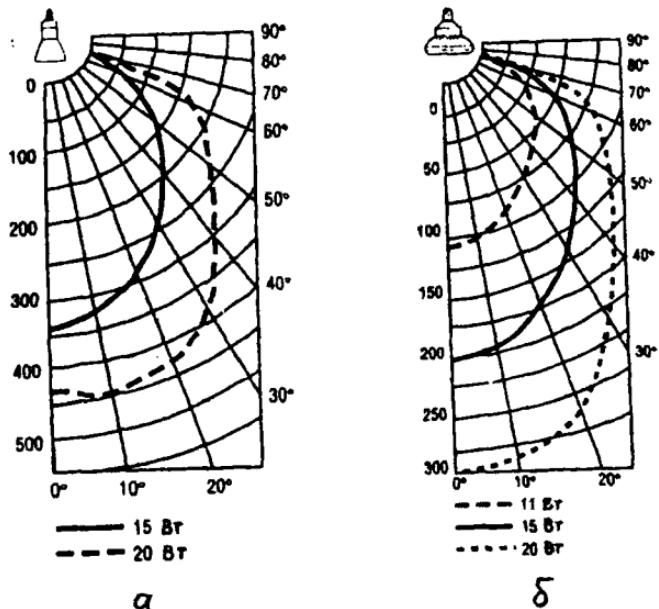
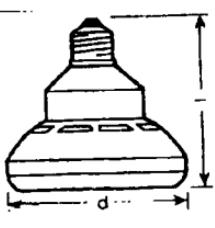


Рис. 37. Кривые силы света (кд) КЛЛ с направленным излучением (фирма Osram):

а — Dulux EL Reflector, — 15 Вт,  $2\alpha = 70^\circ$ ; - - - 20 Вт,  $2\alpha = 80^\circ$ ; б — Dulux EL Concentra, - - - 11 Вт, — 15 Вт, - - - 20 Вт,  $2\alpha = 110^\circ$

Таблица 22

Параметры КЛЛ Dulux EL Concentra (фирма Osram)

	$P_{л}$ , Вт	$I_0$ , кд	$2\alpha_{0,5}$ , град	$\Phi_{л}$ , лм	$T_u$ *, К	Размеры, мм		Цо- коль
						$l$	$d$	
	11	130	110	430		115	108	
	15	220	110	700	2700	120	128	E27
	20	300	110	900		120	135	

\*  $R_a = 82$

KCC см. рис. 37, б

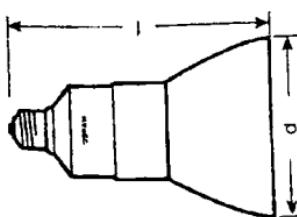
светящего тела с диффузным характером излучения формируют в интерьере более "мягкую" световую среду, создавая менее контрастное освещение по сравнению с направленным светом светильников с обычными и галогенными ЛН, а также с краткодуговыми металло-галогенными лампами.

Для перечисленных выше целей, а также для установки в поворотных светильниках экспозиционного освещения, в том числе размещаемых на шинопроводах, могут быть использованы 4- или 6-канальные КЛЛ с ЭПРА с жестко пристроенным или съемным зеркальным отражателем. В серии КЛЛ Dulux EL Reflector фирмы Osram применена стационарная фиксация отражателя к 6-канальным лампам мощностью 15 и 20 Вт (характеристики см. табл. 23 и на рис. 37). Эти КЛЛ по сравнению с лампами серии Concentra той же мощности имеют более концентрированное светораспределение и заменяют зеркальные ЛН типа R80 мощностью 75 и 100 Вт с таким же углом рассеяния.

Фирма Philips Lighting предусмотрела возможность преобразовывать 4-канальные КЛЛ типа PL-E/C 11, 15, 20 Вт и 6-канальные лампы PL — E/T в зеркальные путем соединения с ними съемного, легко фиксируемого и заменяемого алюминиевого отражателя диаметром 122 мм. В номенклатуре этой же фирмы имеется шаровая зеркальная КЛЛ SL-Reflector со встроенным ЭмПРА и диффузным белым слоем, нанесенным

Таблица 23

Параметры зеркальных КЛЛ Dulux EL Reflector (фирма Osram)

	$P_L$ , Вт	$I_o$ , кд	$2\alpha_{0,5}$ , град	$T_u$ *, К	Размеры, мм		Мас-са, г	Цо-коль
					$l$	$d$		
	15	335	70	2700	145	102	145	E27
	20	450	80		160	115	170	

\*  $R_a = 82$   
КСС см. рис. 37, а

на верхнюю зону сферической внешней колбы; эта КЛЛ с высоким качеством цветопередачи рекомендована для направленной подсветки декоративных растений, цветов и аквариумов в "зеленых" уголках жилых интерьеров, вестибюлях административных и зрелищных зданий, магазинах и экспозиционных залах.

Из последних разработок КЛЛ с ЭПРА и зеркальным отражающим слоем для замены стандартных зеркальных ЛН следует отметить следующие:

КЛЛ мощностью 15 Вт типа EFG-Panasonic (Matsushita Electric); они отличаются высоким качеством цветопередачи,

Таблица 24

**Параметры зеркальных КЛЛ СЕРИИ EFG-Panasonic  
(Matsushita Electric, Япония)**

$P_{\text{л}},$ Вт	$I^*,$ кд	$T_{\text{ц}},$ К	$R_a$	$\tau, \text{ ч}$	Размеры, мм		Мас- са, г	Цо- коль
					$l$	$d$		
15	150	2800	84	10 000	137	80	130	E27 или B22
	140	5000	88					

\* КСС см. рис. 38

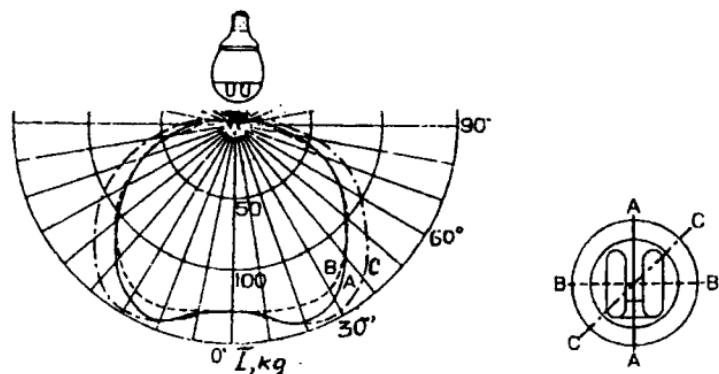


Рис. 38. Кривые силы света зеркальных КЛЛ серии EFG 15E Panasonic мощностью 15 Вт (фирма Matsushita, Япония)



Рис. 39. зеркальная шестиканальная КЛЛ Eco Spot со встроенным ЭПРА (фирма Omicron, Великобритания)

Таблица 25

Параметры зеркальных КЛЛ Eco Spot фирмы Omicron  
(The Lighting Corp. LTD, Великобритания)

Тип лампы	Тип зеркальной колбы	$P_{\text{л.}}$ , Вт	$I_{\text{o макс.}}$ , кд	$\Phi_{\text{л.}}$ , лм	$T_{\text{ц.}}$ , К	$\tau$ , ч	Размеры, мм		Мас-са, г	Цо-коль
							$l$	$d$		
SER17	R95	18	180	1100	4300	8000	170	110	135	E27
SER18	PAR38	18					180	125	145	

большим  $\tau$  (10 тыс. ч) и производятся в двух модификациях по цвету излучения — тепло-белого и дневного света (табл. 24, рис. 38);

КЛЛ дневного света Eco Spot фирмы Omicron (Великобритания) с 6-канальным блоком разрядных трубок мощностью 18 Вт, расположенным в зеркальных выдувных колбах типа R95 и PAR38 (см. рис. 39, табл. 25).

В серии кольцевых КЛЛ Circolux EL фирмы Osram (см. рис. 40), лампы мощностью от 18 Вт (диаметром 165 мм) до 32 Вт (216 мм), в 1997 г. появилась КЛЛ мощностью

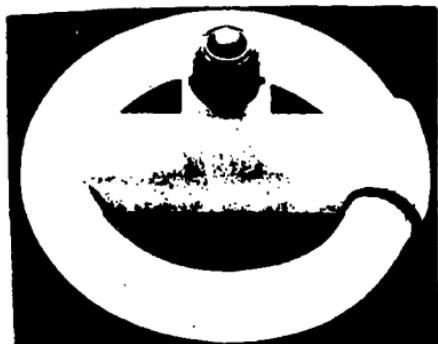
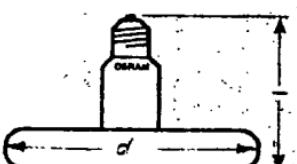


Рис. 40. Кольцевая КЛЛ фирмы Osram

Таблица 26

Параметры кольцевых КЛЛ Circolux EL с ЭПРА (фирма Osram)

	$P_{л^*}$ Вт	$\Phi_{л^*}$ лм	$T_{ц^*}$ К	$R_a$	$\tau^*$ , ч	Размеры, мм		Мас- са, г	Цо- коль
						$l$	$d$		
	18	1000	2700	85	8000	100	165	210	E27
	24	1450					216	240	
	28	1800					216	240	
	32	2000					216	240	

\* Диаметр трубки колбы — 26 мм.

28 Вт с  $\Phi_{л^*} = 1800$  лм диаметром 216 мм (табл. 26). Фирма решила сократить серию Circolux EL до двух типоразмеров, заменив новой КЛЛ 28 Вт лампы мощностью 24 Вт (1450 лм) и 32 Вт (2000 лм). Составляющие теперь серию кольцевых КЛЛ лампы 18 и 28 Вт по величинам  $\Phi_{л^*}$  эквивалентны ЛН мощностью соответственно 75 и 150 Вт, они могут быть применены в подвесных (надстольных) светильниках локализованного освещения в жилом интерьере, а также в специальных потолочных светильниках общего освещения.

“Плоские” КЛЛ типа 2D мощностью 16 Вт ( $140 \times 140$  мм) и 28 Вт ( $205 \times 205$  мм) были впервые разработаны и освоены в производстве в начале 80-х годов на фирме Thorn EMI (Ве-

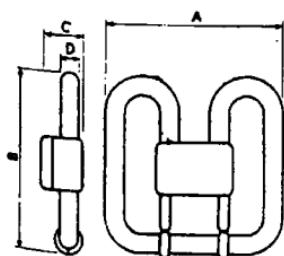


Рис. 41. КЛЛ серии 2D (55, 21 и 10 Вт)

Таблица 27

КЛЛ серии 2D (фирма Electric Lighting, США)

$P_{л}$ , Вт	$\Phi_{л}$ , лм	$\eta_{л}$ , лм/Вт	$T_{ц}$ , К	$R_a$	$\tau$ , ч	Размеры, мм				Тип цо- коля
						A	B	C	D	
10	650	65,0	2700		10 000	92	92	35	23	
			3500							
16	1050	65,6	2700		8000	140	140	28	20	
			3500							
21	1350	64,2	2700		10 000	140	140	28	20	
			3500							
			6000							
28	2050	73,2	2700	82	10 000	205	205	35	27	GR10q*
			3500							
			4000							
38	2850	75,0	2700		10 000	205	205	35	27	
			3500							
55	3900	71,0	2700		10 000	205	205	40	30	
			3500							
			6000							



\* 4-штифтовый цоколь для включения с ЭПРА; лампы 2D 16 Вт и 28 Вт имеют также модификации с цоколем GR8d — для включения с ЭмПРА, в этом случае в цоколь встроен стартер

ликообритания), защищившей конструкцию этих КЛЛ европейским патентом № 0057974. После приобретения в 90-х годах электроламповых предприятий Thorn Lighting американским концерном General Electric серия КЛЛ 2D выпускалась до последних лет только на заводах одной фирмы — GE-Lighting.

Недавно фирма Bailey Electric and Electronic (Нидерланды) начала выпуск серии КЛЛ 2D по лицензии, закупленной у GE-Lighting.

После появления в 1996 г. самой мощной лампы 55 Вт эта серия у GE-Lighting включает в себя 6 типоразмеров (см. рис. 41 и табл. 27). Форма разрядной трубы, шестикратно изогнутой в одной плоскости, по периметральному контуру близкая к квадрату, и центральное расположение цоколя позволяют оптимально заполнить объем рассеивателей квадратных и круглых светильников и минимизировать их высоту. Размеры КЛЛ мощностью 28, 38 и 55 Вт одинаковы и дают возможность использовать эти лампы в унифицированных конструкциях потолочных и встраиваемых светильников, вписывающихся в модуль панелей заполнения подвесных потолков 300×300 мм. КЛЛ серии 2D универсальны в применении: они не критичны к положению эксплуатации, могут быть применены как внутри помещений, так и для наружной установки.

Примечательной особенностью КЛЛ типа 2D является возможность (без амальгамной технологии) варьировать положение максимума кривой температурной зависимости светового потока  $\Phi_{\text{л}} = f(t)$ , что показано на примере лампы мощностью 38 Вт (см. рис. 25) для двух возможных вариантов положения ртути в лампе и соответствующих различных значений  $t$  "холодной" точки. Если ртуть размещена в трубке откачного штенгеля, то максимум  $\Phi_{\text{л}}$  приходится на  $t_{\text{окр}} = 25 - 30^{\circ}\text{C}$  и КЛЛ в такой модификации целесообразно использовать в светильниках внутреннего освещения. Если же ртуть находится непосредственно в разрядной трубке, то максимум кривой  $\Phi_{\text{л}} = f(t)$  смещается на  $15 - 20^{\circ}\text{C}$  в область более низких  $t_{\text{окр}}$  ( $0 - 10^{\circ}\text{C}$ ). При установке КЛЛ со смещенным влево максимумом  $\Phi_{\text{л}}$  в светильниках наружного освещения их эксплуатационный КПД заметно повышается при снижении  $t_{\text{окр}}$  в осенне-зимний период. Лампы рассчитаны на работу с выносным, преимущественно ЭПРА, и по данным фирмы, надежно зажигаются при  $t$  до  $-10^{\circ}\text{C}$ .

Применение амальгамы для регулирования давления ртутных паров и достижения максимального выхода  $\Phi_L$  в широком температурном диапазоне использовано в новой КЛЛ 2D 55 Вт. Ее номинальный  $\Phi_L = 3900$  лм, как видно из рис. 21, сохраняется от +15 до +45 °C, а 90%-ный уровень  $\Phi_L$  поддерживается в пределах от -6 до +65 °C. Таким образом, эта КЛЛ может быть эффективно использована в светильниках, эксплуатирующихся в самых различных тепловых режимах.

В серии предусмотрено также исполнение КЛЛ 2D мощностью 10 Вт (эквивалентной по  $\Phi_L$  стандартной ЛОН 60 Вт) для установки в адаптер со встроенным в него ЭПРА и цоколем E27 (см. рис. 37, б) для того, чтобы можно было легко заменить этим комплектом ЛН указанной мощности в светильнике с приемлемыми габаритами декоративного рассеивателя. Полная длина КЛЛ 2D 10 Вт, установленной в такой адаптер, составляет 113 мм, ее  $\Phi_L = 700$  лм; ЭПРА в адаптере потребляет всего 3 Вт, его ресурс более 30 тыс. ч, т. е. адаптер может проработать без замены с тремя последовательно сменяемыми КЛЛ (с  $\tau = 10$  тыс. ч).

Как известно, вредное воздействие на окружающую среду при производстве электроэнергии (ЭЭ) тепловыми электростанциями (ЭС) в наибольшей степени обусловлено выбросом в атмосферу токсичной окиси углерода ( $\text{CO}_2$ ). Энергетиками подсчитано, что в среднем выработка каждого кВт·ч ЭЭ на ЭС, работающей на каменном угле, приводит к эмиссии 1 кг  $\text{CO}_2$ . В мировом масштабе загрязнение атмосферы выбросами ЭС в значительной мере способствует образованию "парникового эффекта", ведущего в конечном итоге к глобальному потеплению климата на Земле.

С этих позиций очевидно, что широкое применение КЛЛ вместо ЛН дает не только большую экономию первичных энергетических ресурсов и потребляемой ЭЭ в ОУ, но и оздоравливает окружающую среду: при использовании на ЭС в качестве горючего твердых ископаемых происходит выделение не только  $\text{CO}_2$ , но и некоторого количества ртути.

При расчетах экономических преимуществ замены ЛН на КЛЛ следует учесть суммарный расход ЭЭ (на промышленное изготовление ламп и при их эксплуатации в течение срока службы в ОУ).

Одна КЛЛ мощностью 15 Вт со встроенным ЭПРА за свой  $\tau = 10000$  ч расходует 150 кВт·ч ЭЭ, на ее изготовление необходимо затратить примерно 2,4 кВт·ч; суммарный расход ЭЭ таким образом составляет 152,4 кВт·ч. За те же 10 000 ч десять эквивалентных по  $\Phi_L$  обычных ЛН мощностью 75 Вт с  $\tau = 1000$  ч потребляют 750 кВт·ч ЭЭ, на производство этих 10 шт. ЛН потребляется 2,5 кВт·ч и общий расход ЭЭ достигает 752,5 кВт·ч, что в 5 раз больше, чем для КЛЛ.

Не вдаваясь в детали проблемы утилизации отработавших КЛЛ, следует отметить, что за счет усовершенствования технологий дозировки ртути ведущими фирмами ее содержание в КЛЛ уменьшено до минимально возможного уровня и не превышает 3 мг.

Реальная картина сопоставления КЛЛ с резьбовыми цоколями и встроенными ЭПРА с эквивалентными по величине  $\Phi_L$  лампами накаливания представлена в табл. 28.

Какой же может быть реальная экономия (в стоимостном выражении) в быту, если в одной световой точке, например, в светильнике общего освещения на кухне, ЛН мощностью 100 Вт (криптоновая, с  $\Phi_L = 1500$  лм) будет заменена эквивалентной ей по световому потоку КЛЛ мощностью 23 Вт с ЭПРА и цоколем Е27 при среднем времени суммарной работы 1000 ч/год? При этом представляет интерес сравнение размеров предполагаемой экономии, получаемой частным потребителем в России и в Германии с учетом действующих тарифов на электроэнергию и розничных цен на КЛЛ и ЛОН (табл. 29). Что касается срока окупаемости затрат на приобретение одной КЛЛ мощностью 20 — 23 Вт ценой примерно 15 долл. США (25 нем. марок), то за счет 80 %-ной экономии энергии и 10-кратного срока службы он составляет в Германии при оговоренных выше условиях примерно 2 года, а в России — не менее 5 лет.

Большой срок службы КЛЛ позволяет резко уменьшить затраты на обслуживание ОУ. Например, при средней годовой наработке светильников в торговом зале магазина около 3600 ч при замене ЛН на КЛЛ интервалы между плановыми сменами источников света увеличиваются с 3,5 мес. до 33 мес. (2 года 9 мес.), в бытовом секторе (1000 ч/год) соответственно с 11 — 12 мес. до 109 мес. (примерно 9 лет).

**Сравнительные характеристики КЛЛ мощностью 5 — 23 Вт  
(со встроенными ЭПРА, цоколем Е27) и эквивалентных  
по световому потоку ЛН общего назначения 25 — 100 Вт**

$P_L$ , Вт	$\Phi_{L^*}$ лм	$\eta_{L^*}$ лм/Вт	$t$ , ч		Размеры, мм						
					$l$	$d$					
ЛН	КЛЛ	ЛН	КЛЛ	ЛН	КЛЛ	ЛН	КЛЛ	ЛН	КЛЛ	ЛН	КЛЛ
25	5	230 —	250	9	50	1000	12 000	88* —	121	45* —	30
		235*						108		60	
40	7	430 —	400	11 —	57	10 000 —	12 000	88* —	130	45* —	45
		475*		12*				108		60	
60	11	730 —	600	12 —	55	10 000 —	12 000	88* —	139	45* —	45
		800		13,3*				108		60	
75	15	960 —	900	12,8 —	60	10 000 —	12 000	96* —	143	50* —	52
		1030*		13,7*				108		60	
100	20	1380	1200	13,8	60			108	156	50* —	52
100*	23	1500*	1500	65,2*	65,2			96*	176	50*	58

\* ЛН с криптоновым наполнением

Крупнейшие производители КЛЛ — Philips Lighting и Osram опубликовали в середине 90-х годов расчетные данные прогнозов об экономических и экологических выгодах массового внедрения КЛЛ во все возможные сферы их применения в технике освещения в странах Западной Европы. По оценкам фирмы Philips Lighting, если в каждом из 145 млн. ед. домашних хозяйств стран Европейского союза 3 шт. обычных ЛН по 60 Вт были бы заменены тремя КЛЛ по 11 Вт с ЭПРА, то при средней ежесуточной наработке 4 ч можно было бы получить годовую экономию ЭЭ, эквивалентную ликвидации на европейском континенте десяти тепловых ЭС мощностью 600 МВт каждая. Более 220 млн. шт. КЛЛ фирмы Philips Lighting, функционирующих сейчас в различных ОУ многих стран мира, дают экономию ЭЭ, равную общему потреблению энергии в год в городах одного из самых промышленно развитых районов Германии — земли Северный Рейн-Вестфалия.

Впечатляет прогноз фирмы Osram: замена в 35,3 млн. до-

Таблица 29

Расчет экономии за срок службы КЛЛ мощностью 23 Вт при замене ею ЛН мощностью 100 Вт в одной световой точке у частного потребителя

Показатели	Источник света	
	КЛЛ	ЛН
A. Мощность лампы, Вт	23	100
B. Световой поток, лм	1500	1500*
B. Средний срок службы, ч	10 000	1000
G. Розничная цена за одну штуку		
в России, руб.	100**	5**
в Германии, DM	25	1,75
D. Годовая наработка световой точки, ч		1000
E. Суммарное время работы за 10 лет ( $\tau$ ), ч		10 000
J. Тариф на электроэнергию		
в России, руб./кВт·ч		0,18
в Германии, DM/кВт·ч		0,28
Z. Стоимость электроэнергии, израсходованной за время $\tau$ ( $A \times E \times J$ )		
в России, руб.	41,4	180
в Германии, DM	64,4	280
I. Стоимость ламп, заменяемых за время $\tau$ :	$1 \times \Gamma$	$10 \times \Gamma$
России, руб.	100	50
в Германии, DM	25	17,5
K. Суммарные затраты за время $\tau$ ( $Z + I$ ):		
России, руб.	141,4	230
в Германии, DM	89,4	297,5

$(K_{LN} - K_{KL}) =$  экономия: 88,8 руб. (в России)  
208 DM (в Германии)

\* ЛН с криптоновым наполнением

\*\* средняя цена на лампы Osram, Philips, GE-Lighting

машних хозяйств этой страны только одной ЛН 60 Вт на КЛЛ Dulux EL 11 Вт позволила бы за 10 тыс. ч сэкономить 17,3 млн. кВт·ч ЭЭ. Это равнозначно снижению расхода каменного угля на 5 млн. т/год на ЭС и, соответственно, уменьшению ими выбросов двуокиси углерода в атмосферу на 15 млн. т ежегодно.

Приведенные данные показывают, сколь существенный потенциал экономии ЭЭ заложен в расширении применения КЛЛ

во внутреннем и наружном освещении и какой значительный вклад в оздоровление окружающей среды может внести этот энергоэффективный источник света при массовом использовании.

Мировой ежегодный прирост выпуска КЛЛ в середине 90-х годов превысил 25 %, а суммарный объем производства достиг более 250 млн. шт./год.

За 10 лет серийного выпуска (1986 — 1996 гг.) фирмой Osram "электронных" КЛЛ Dulux EL их было продано около 60 млн. шт., причем розничная цена на эти лампы в Германии за указанный период снизилась в 2 — 2,5 раза (с 45 до 18 — 22 марок). В целом по Германии ежегодно в первой половине 90-х годов производство КЛЛ в стоимостном выражении увеличивалось на 15 — 20 %.

В 1996/97 финансовом году фирма Osram увеличила сбыт КЛЛ по сравнению с предыдущим годом на 15 % и он превысил 20 млн. шт.

На 1 октября 1997 г. по сравнению с 1995/96 финансовым годом прирост продаж КЛЛ в количественном выражении у Philips Lighting составил: для ламп со встроенным ЭПРА и цоколями E14 и E27 — более 10 %, для ламп с выносным ПРА и штифтовыми цоколями — 5 %.

Данные Международной ассоциации по энергоэффективному освещению (IAEEL), приведенные в табл. 30, объективно отражают динамику объема продаж КЛЛ со встроенными и выносными ПРА за последние 5 — 8 лет в основных регионах мира. Как видно, здесь явно лидируют западноевропейские страны: если в 1992 г. сбыт КЛЛ всех типов составлял около 59 млн. шт., то, по данным на IV квартал 1997 г. он увеличился в 1,85 раза, достигнув 110 млн. шт. (ламп с выносными ПРА было продано 54 млн. шт., со встроенным ПРА — 56 млн. шт.).

Подробный анализ ценовых и неценовых факторов, влиявших на сбыт КЛЛ в первой половине 90-х годов в бытовом секторе стран Зап. Европы, дан в очень интересной работе Э. Миллса и У. Уилмса [10].

Несколько лет назад светотехнический рынок КЛЛ, особенно европейский, стал испытывать сильнейшее давление со стороны так называемых независимых мелких производителей из стран с дешевой рабочей силой — государств Дальневосточного региона,

Таблица 30

**Объемы продаж компактных люминисцентных ламп  
в различных регионах мира в 1990 — 1997 гг.**

Регионы	Продажа КЛЛ, млн. шт							
	годы							
	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997
1	2	3	4	5	6	7	8	9
<b>Северная Америка (США, Канада)</b>								
КЛЛ с выносными ПРА	12,5	18,0	19,0	28,0	33,0	35,5	37,0	38,0
КЛЛ с встроенным ПРА	5,5	12,5	17,5	21,5	22,0	26,0	28,0	32,0
Итого	18,5	30,5	36,5	49,5	55,0	61,5	65,0	70,0
<b>Южная Америка (вкл. Мексику)</b>								
КЛЛ с выносными ПРА	0,8	1,2	1,7	2,0	3,0	5,0	5,5	6,0
КЛЛ с встроенным ПРА	0,1	0,2	0,4	1,0	2,5	3,5	4,5	6,0
Итого	0,9	1,4	2,1	3,0	5,5	8,5	10,0	12,0
<b>Западная Европа</b>								
КЛЛ с выносными ПРА	22,0	26,0	31,0	35,0	38,5	43,0	47,0	54,0
КЛЛ с встроенным ПРА	16,8	22,7	28,2	33,0	38,0	42,0	48,0	56,0
Итого	38,8	48,7	59,2	68,0	76,5	85,0	95,0	110,0
<b>Восточная Европа</b>								
КЛЛ с выносными ПРА	—	—	—	—	—	1,0	1,5	2,0
КЛЛ с встроенным ПРА	—	—	—	1,0	3,0	4,5	6,0	8,0
Итого	—	—	—	1,0	3,0	5,5	7,5	10,0
<b>Япония</b>								
КЛЛ с выносными ПРА	8,0	10,0	12,0	15,5	16,0	18,0	20,0	22,0
КЛЛ с встроенным ПРА	3,8	3,9	6,0	8,0	9,0	12,0	15,0	18,0
Итого	11,8	13,9	18,0	23,5	25,0	30,0	35,0	40,0
<b>Китай</b>								
КЛЛ с выносными ПРА	0,5	1,0	1,5	1,5	2,0	2,0	2,0	2,0
КЛЛ с встроенным ПРА	2,5	3,0	3,5	4,0	5,0	7,0	13,0	35,5
Итого	3,0	44,0	5,0	5,5	7,0	9,0	15,0	37,0
<b>Азиатско-Тихоокеанские страны (без Японии и Кина)</b>								
КЛЛ с выносными ПРА	4,6	6,0	7,0	11,0	13,0	15,0	20,0	27,0
КЛЛ с встроенным ПРА	4,8	6,2	8,4	10,5	14,5	22,0	30,0	38,0
Итого	9,4	12,2	14,4	21,5	27,5	37,0	50,0	65,0

1	2	3	4	5	6	7	8	9
<b>Страны остального мира</b>								
КЛЛ с выносными ПРА	0,4	0,6	0,3	2,0	1,0	2,0	2,5	3,5
КЛЛ с встроеными ПРА	1,0	1,1	1,5	5,0	5,0	5,5	6,5	8,5
Итого	1,4	1,7	1,8	7,0	6,0	7,5	9,0	12,0
<b>ВСЕГО</b>								
КЛЛ с выносными ПРА	48,8	63,8	72,5	95,0	106,5	121,5	135,5	154,5
КЛЛ с встроенными ПРА	34,5	49,6	65,5	84,0	99,0	122,5	122,5	201,5
Итого	83,3	112,4	138,0	179,0	205,5	244,0	244,0	356,0

Источник информации: IAEEL (International Ass. for Energy-Efficient Lighting, Newsletter issue № 19, vol. 6, № 3 — 4/97)

прежде всего Китая и Юго-Восточной Азии. Серьезную озабоченность специализированных европейских производителей КЛЛ и их торговых служб вызвал тот факт, что на рынок буквально хлынул поток очень дешевых ламп низкого качества, практически ни по одному из параметров не удовлетворяющих международным нормам и стандартам и созданных с очевидным нарушением патентных прав и авторских приоритетов.

Весьма показательным, с точки зрения оценки качества "дешевых" КЛЛ, производимых в Китае, является случай, описанный в информационном бюллетене IAEEL (1997, № 4). Один из жителей Пекина рассказал в Центре по эффективному использованию ЭЭ буквально следующее: "Недавно я купил ЛЛ с цоколем как у обычной лампочки и установил ее в светильник вместо ЛН. Новая лампа стоила 15 юаней (около 2 долл. США). Это хотя и дешево, но все же значительная сумма для меня. К лампе прилагался листок с 30-дневной гарантией, она вышла из строя через 32 дня...".

Следует указать, что ведущие электроламповые фирмы прилагают максимум усилий для того, чтобы исправить положение, исключив проникновение на рынок низкокачественных КЛЛ, которое дискредитирует в глазах массового потребителя этот перспективный источник света. Philips, GE-Lighting, Osram уже создали совместные предприятия в Китае и других странах; в Шанхае основана сертификационная лаборатория Philips для контроля продукции независимых производителей. GE-Lighting

и Philips в последние годы приобрели свыше 15 млн. шт. КЛЛ у таких изготовителей для последующей перепродажи под собственными товарными знаками. Китайские КЛЛ составляют сейчас около 25% импортных объемов на европейском рынке. Надо признать, что их проникновение в Европу неожиданно повысило объем продаж качественных КЛЛ специализированных фирм, которые предпочтитаются осведомленным потребителем из-за более высокой надежности и качества, несмотря на относительно высокую цену.

По мнению Нильса Борга, консультанта NUTEK — Шведской национальной администрации и главного редактора бюллетеня IAEEEL, цены на КЛЛ в ближайшие годы будут определяться все возрастающим влиянием целого ряда самых различных факторов. Усиливающийся финансовый кризис в Азии, вероятно, будет способствовать привлечению новых производителей светодиотехнической продукции в этот регион. Однако, чем больше новых производителей КЛЛ будет проникать на рынок, тем труднее будет массовым потребителям отличать лампы высокого качества от низкокачественных. Естественно, что в такой ситуации возрастет роль независимых сертификационных центров и тест-лабораторий — своеобразных "фильтров" качества КЛЛ.

Надежная статистика объемов сбыта КЛЛ отечественного и зарубежного производства на российском рынке, в том числе и через розничную торговую сеть, к сожалению, отсутствует. Тем не менее, с полной уверенностью можно констатировать, что цены на КЛЛ, минимум в 20 раз превышающие стоимость ЛН, сегодня явно не по карману "среднему" гражданину России при нынешнем уровне зарплаты и пенсии.

Что касается судьбы "советских", а затем и российских КЛЛ, то они до последнего времени исправно присутствовали лишь на страницах номенклатурных справочников заводов Саранского объединения "Лисма". По крайней мере, сведений о сколь-нибудь значительных объемах выпуска и внедрения КЛЛ в практику отечественной техники освещения зданий и в быту в 80 — 90-х годах не было.

В этой связи заслуживает внимания отрадный факт появления в 1996 — 1997 гг. на российском рынке первых серийных спиральных КЛЛ "Аладин" (2-, 3-, 4-витковых, мощностью 9, 12, 16 Вт с ЭПРА и цоколем Е27), разработанных АО

“МЭЛЗ” и “Научным центром” (Зеленоград) в кооперационном партнерстве с упомянутой выше германской фирмой Prolite [8, 9]. Новые КЛЛ производятся предприятием “Светроник” и АО “Элекс-Электрик” (г. Александров Владимирской обл.) — разработчиком ПРА для этих ламп. Розничная цена КЛЛ «Аладин» в московских магазинах — 50 — 55 руб. По утверждению разработчиков, основные эксплуатационные параметры ламп (спад  $\Phi_L$  в процессе работы, средняя продолжительность горения) близки к зарубежным аналогам, однако необходимы еще интенсивные усилия производителей по окончательному доведению характеристик КЛЛ до требований международных стандартов.

На рис. 42 показан один из последних вариантов КЛЛ “Аладин” совместной разработки АО “МЭЛЗ” и фирмы Prolite с новым типом безопасного 2-штифтового цоколя H19 для установки в электронный адаптер с резьбовым цоколем. Цоколь H19 позволяет подавать на лампу управляющие сигналы от темнителей или переключателей режимов работы по мощности. Здесь же следует указать на реализованную фирмой Prolite идею проф. В. Хольцера — простой и относительно дешевый емкостной темнитель модели Dimmo для ступенчатого регулирования  $\Phi_L$  таких КЛЛ.

Также в рамках международного сотрудничества совместное

□



Рис. 42. Спиральная КЛЛ “Аладин” мощностью 11 Вт с новым цоколем H19 для установки в адаптер (МЭЛЗ, “Светроник”, Россия; Prolite, Германия)

российско-армянское ООО Р.А.М. начало производство 4-канальных КЛЛ типа КЛЧЭ со встроенным ЭПРА и цоколем Е27; розничная цена этих КЛЛ мощностью 13 и 18 Вт — 75 — 78 руб.

Недавно начата опытная эксплуатация КЛЛ зарубежного производства на нескольких станциях метрополитена С.-Петербурга и Москвы. В 1996 г. фирма Hoffmeister-Leuchten (Германия) смонтировала в экспозиционных залах ресторированного Малого манежа в Москве спроектированную ею ОУ с применением светильников с КЛЛ и регулируемыми ЭПРА. Это был первый реализованный в России проект освещения зрелищного здания с автоматическим регулированием светового потока КЛЛ в зависимости от уровней естественного освещения через верхние светопроемы. Технические и экономические преимущества ОУ с КЛЛ и регулируемой освещенностью убедительно подтвердились во время премьерной экспозиции Малого манежа — выставки произведений акварельной живописи московского художника С. Андрияки.

Перечисленные факты дают основание надеяться, что применение КЛЛ в нашей стране в ближайшие годы будет расширяться. Способствовать этому должны, вероятно, и такие документы, как принятый в 1997 г. Государственной Думой Закон Российской Федерации об энергосбережении, распоряжение Правительства Москвы о мерах по повышению энергоэффективности освещения объектов столицы, а также постепенное, но неизбежное повышение тарифов на ЭЭ в жилом секторе.

Рамки данной работы не позволили подробно коснуться таких вопросов, как пусковые режимы КЛЛ; схемы их включения; особенности работы с ЭмПРА и ЭПРА; эксплуатация КЛЛ с ЭПРА при питании их постоянным током; работы КЛЛ в осветительных приборах, управляемых ИК-датчиками присутствия и фотосенсорными регуляторами; возможность плавного изменения светового потока КЛЛ в схемах с ЭПРА и др. Эти проблемы достаточно полно освещены в специальных выпусках фирм Osram и GE-Lighting [1, 4, 5, 15].

В задачу обзора не входило рассмотрение конструкций и характеристик светильников с КЛЛ, разнообразные типы которых для внутреннего и наружного освещения выпускаются многочисленными зарубежными фирмами. Ограничимся лишь пе-

речислением основных групп осветительных приборов с КЛЛ, применяемых в действующих ОУ за рубежом:

- потолочные, встраиваемые и подвесные светильники общего освещения помещений общественных зданий;
- напольные светильники комбинированного освещения рабочих мест с дисплеями;
- настольные светильники местного освещения;
- светильники экспозиционного освещения;
- венчающие и консольные светильники для наружного освещения городов;
- светильники охранного, аварийного и других видов специального освещения.

Для более подробного ознакомления с применением КЛЛ в обширной группе светильников прямого света, встраиваемых в подвесные потолки, можно рекомендовать фундаментальный доклад специалистов фирмы Philips Lighting на светотехнической конференции Licht'96 [14].

Подробный анализ светотехнических и экономических аспектов применения КЛЛ в бытовых светильниках содержится в [13].

Специализированными изготовителями патронов для КЛЛ с цоколями всех возможных разновидностей являются европейские фирмы: BJB-Brockelmann, Jaeger und Busse, Vossloh-Schwabe, Bender und Wirth, Metalluk Bauscher, VLM W. Murjahn, Kurt Albert Rohr (Германия); A.A.G. Stucchi S.p.A. (Италия).

Ряд изгтовителей комплектующих компонентов для осветительных приборов с КЛЛ предлагает конструкторам очень удобную для дизайна новых светильников новинку — модульный блок: малогабаритный ПРА, смонтированный на одной несущей панели вместе с патроном для той или иной КЛЛ.

В заключение авторы обзора выражают признательность Директору службы маркетинга московского представительства Osram В. Неровному и сотрудникам представительства General Electric Lighting в Москве — А. Хмылеву и М. Медведеву за оперативное представление обширных информационных материалов.

## Список литературы

1. Каталоги и другие информационные материалы (1984 — 1994, 1995 — 1998 гг.) фирм Philips Lighting, Osram, General Electric Lighting, Sylvania, Mazda, Radium, Narva, Matsushita Electric, Solalight, Thorn Lighting, Girard — Sudron, Tridonic, Helvar.
2. Кулаков И.А., Рожкова Н.В. Компактные люминесцентные лампы и светильники (обзор)/ "Светотехника", 1984, № 3, с. 18 — 26.
3. Кулаков И.А., Рожкова Н.В. Состояние и развитие компактных люминесцентных ламп (обзор)/ "Светотехника", 1985, № 9, с. 12 — 15.
4. *Kompakt* — Lichtstofflampen Osram Dulux. Techische Fibel. (Изд. фирмы Osram, 1997).
5. *Elektronische Energiesparlampen Osram Dulux EL. Fakten und technische Daten.* (Изд. фирмы Osram, 1996).
6. Горнов В.О. Новые светотехнические изделия на Ганноверской ярмарке 1994 г. (обзор)/ "Светотехника", 1995, № 1, с. 24 — 28.
7. Горнов В.О. Новые источники света на Ганноверской ярмарке 1995 г. (обзор)/ "Светотехника", 1995, № 9, с. 24 — 27.
8. Елисеев Н.П., Поливин С.Н. Серия энергоэкономичных компактных люминесцентных ламп спиральной формы/ "Светотехника", 1997, № 6, с. 29 — 30.
9. Хольцер В. Новое поколение энергоэкономичных компактных ламп/ "Светотехника", 1998, № 1, с. 9 — 11.
10. Миллс Э., Уилмс У. Анализ факторов, влияющих на продажу компактных люминесцентных ламп в бытовом секторе Европы/ «Светотехника», 1995, № 3, с. 2 — 7.
11. Айзенберг Ю.Б. О проблемах внедрения компактных люминесцентных ламп/ "Светотехника", 1995, № 8, с. 5 — 8; Дискуссия о потребности и областях применения компактных люминесцентных ламп. Там же, с. 2 — 5.
12. Голембиовский С.А., Шемелин Ю.А. Российский рынок светотехнической продукции бытового и офисного назначения. Взгляд изнутри/ "Светотехника", 1997, № 6, с. 38 — 39.
13. Миллс Э., Симинович М., Пэйдж Э., Сардински Р. Новое поколение светильников для освещения жилья/ "Светотехника". 1996, № 1 — 2, с. 29 — 33.
14. Ван дер Бургт П., ван Кеменаде И. Компактные встраиваемые светильники прямого света/ "Светотехника", 1998, № 1, с. 16 — 22.
15. GE-Lighting. Biax Technical Catalogue. (European Edition, 1998).

# **Современные натриевые лампы высокого давления**

**В.Ю. Погребной**

Натриевые лампы высокого давления (НЛВД) являются одним из наиболее эффективных источников света и уже сегодня обладают световой отдачей до 160 лм/Вт при мощностях 30 — 1000 Вт; их срок службы может превышать 25 000 ч [1]. Небольшие размеры светящегося тела и высокая яркость НЛВД значительно расширяют возможности их применения в различных световых приборах с концентрированным светораспределением [2]. Как правило, НЛВД эксплуатируются в комплекте с индуктивным или электронным балластом. Зажигание НЛВД происходит с помощью специальных зажигающих устройств, выдающих импульсы до 6 кВ. Время разгорания ламп обычно составляет 3 — 5 минут. В табл. 1 приведены некоторые параметры лами общего назначения ведущих производителей.

К достоинствам современных НЛВД можно отнести относительно небольшой спад светового потока в течение срока службы, который, например, для ламп мощностью 400 Вт составляет 10 — 20 % за 15 тыс. ч при 10-часовом цикле горения. У ламп, работающих с более частыми включениями, спад светового потока растет приблизительно на 25 % при каждом двукратном сокращении цикла. Такое же соотношение справедливо и для расчета снижения срока службы.

Принято считать, что эти лампы находят применение там, где экономические показатели более важны, чем точное воспроизведение цвета. Их теплый желтый свет вполне подходит для освещения парков, торговых центров, дорог, а также, в некоторых случаях, для декоративного архитектурного освещения (Москва — яркий тому пример). Однако развитие этих источников света в последнее десятилетие привело к резкому расширению возможностей их применения благодаря появлению новых видов, а также ламп малой мощности и ламп с улучшенной цветопередачей.

Таблица 1

## Параметры НЛВД общего назначения ведущих фирм

Производитель, тип ламп	Мощность, Вт	Световой поток, лм	Световой поток в конце срока службы, %	Номинальный срок службы*, ч	Средняя стоимость на российском рынке**, \$
Lucalox T Standart GE	150	15 000	67	28 500	19
	250	27 500	67	28 500	19
	400	50 000	67	28 500	19
SON-T Philips	150	15 000	—	—	20
	250	28 000	—	—	20
	400	48 000	—	—	21
VIALOX NAV Standart Osram	150	14 500	70	17 500	21
	250	27 000	70	17 500	19
	400	48 000	70	17 500	19
ДНаТ ОАО ЛИСМА	150	14 000	—	10 000	11
	250	24 000	—	15 000	12
	400	50 000	—	15 000	13

\* Момент времени, когда 50 % всех установленных ламп еще горят.

\*\* Порядок цен крупнооптовых фирм г. Москвы.

## 1. Натриевые лампы высокого давления с улучшенной цветопередачей

В настоящее время НЛВД представляют практически самую эффективную группу разрядных источников света. Однако у стандартных НЛВД имеется ряд недостатков, из которых, прежде всего, необходимо отметить явно ухудшенные цветопередающие свойства, характеризующиеся низким индексом цветопередачи ( $R_a = 2.5 - 28$ ) и невысокой цветовой температурой ( $T_{цв} = 2000 - 2200$  К).

Уширенные резонансные линии натрия обуславливают золотисто-желтый цвет излучения (рис. 1). Цветопередача НЛВД считается удовлетворительной для наружного освещения, но недостаточной для внутреннего.

Улучшение цветовых характеристик НЛВД идет, главным образом, благодаря повышению давления паров натрия в горелке при увеличении температуры холодной зоны или содержания

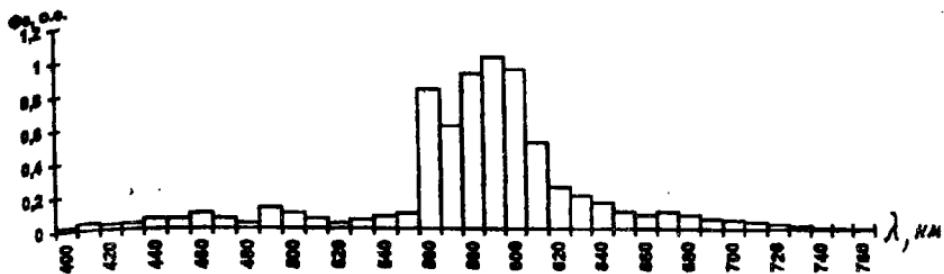


рис. 1. Спектральное распределение излучения НЛВД мощностью 250 Вт и менее

натрия в амальгаме, увеличению диаметра разрядной трубки, введению излучающих добавок, нанесению на внешнюю колбу люминофоров и интерференционных покрытий и питанию ламп импульсным током повышенной частоты [3]. Снижение световой отдачи компенсируется увеличением давления ксенона (т.е. уменьшением теплопроводности плазмы).

Над проблемой улучшения спектрального состава излучения НЛВД работают многие специалисты, и рядом зарубежных фирм уже выпускаются качественные лампы с улучшенными цветовыми параметрами. Так, в номенклатуре таких ведущих компаний как General Electric, Osram, Philips присутствует широкая группа натриевых ламп с улучшенными цветопередающими свойствами. В табл. 2 представлены параметры таких ламп мощностью 250 Вт различных производителей.

Из табл. 2 видно, что у подобных ламп с общим индексом цветопередачи  $R_a = 50 - 70$  световая отдача ниже на 25% и в два раза меньший срок службы по сравнению со стандартными вариантами. Стоит также отметить, что принципиальные параметры натриевых ламп ВД достаточно критичны к изменению напряжения питания. Так, при снижении питающего напряжения на 5 — 10% мощность, световой поток,  $R_a$  теряют от 5 до 30% от своих номинальных значений, а при повышении напряжения резко падает срок службы [4].

Попытки найти экономичный аналог лампе накаливания привели к созданию нового поколения натриевых ламп. Сравнительно недавно появилось семейство натриевых ламп малой мощности с улучшенной цветопередачей. Фирма Philips, например, представила серию ламп типа SDW мощностью 35 —

Таблица 2

## Параметры НЛВД с улучшенной цветопередачей

Название и фирма-произво- дитель	Исполне- ние	Световой поток в начале срока службы, лм	Световой поток в кон- це срока службы, %	Номиналь- ный срок службы, ч	R <sub>a</sub>	Цвето- вая тем- перату- ра, К
Lucalox Classique GE	Софитное	22 000	87	14 000	60	2200
SON- COMFORT Philips	Софитное	22 000	—	—	60	2200
VIALOX NAV DE LUXE Osram	Софитное	23 000	—	—	60	2200
Стандартная НЛВД (типа Lucalox T), GE	Софитное	27 500	67	28 500	25	2200

100 Вт с  $R_a = 80$  и цветностью излучения, близкой к цветности излучения ламп накаливания. Световая отдача лампы составляет 39 — 49 лм/Вт, а системы лампа — ПРА 32 — 41 лм/Вт. Такая лампа с успехом может применяться для создания декоративных световых акцентов в местах общественного пользования.

Новая серия ламп фирмы OSRAM COLORSTAR DSX вместе с электронным ПРА POWERTRONIC PT DSX является абсолютно новой осветительной системой, позволяющей, используя одну и ту же лампу, изменять цветовую температуру. Изменение цветовой температуры с 2600 на 3000 К и обратно производится с помощью электронного ПРА со специальным переключателем. Это позволяет создавать для выставленных в витринах экспонатов световой интерьер, соответствующий времени суток или времени года. Лампы этой серии экологически безопасны, так как не содержат ртуть. Стоимость осветительной установки из таких комплектов в 5 — 6 раз выше аналогичной, состоящей из светильников с галогенными лампами накаливания [5].

Для наружного освещения разработана модифицированная версия системы COLORSTAR DSX — COLORSTAR DSX2. Вместе

## Параметры НЛВД специального назначения

Лампа	Мощность, Вт	Световой поток, лм	Цветовая температура, К	Длина, мм	Диаметр, мм	Примечания
DSX 80	80	4500	3000/2600	149	32	
DSX TS 80	80	4500	3000/2600	114	20	Автоматическое выключение в конце срока службы
DSX2 50	55/33	3800/2100	2800	149	32	Время разгорания
DSX2 80	80/50	6000/3000	2800	149	32	70 с

со специальным ПРА световой поток системы может быть уменьшен до 50 % от номинального значения. Эта серия ламп также не содержит ртуть.

Некоторые данные по этим сериям приведены в табл. 3.

## 2. Натриевые лампы высокого давления малой мощности

Среди выпускаемых в настоящее время НЛВД наибольшая доля приходится на лампы мощностью 250 и 400 Вт. При этих мощностях эффективность ламп считается максимальной [6]. Однако в последнее время значительно возрос интерес к НЛДВ малой мощности из-за стремления к экономии электроэнергии при замене ламп накаливания на разрядные лампы малых мощностей во внутреннем освещении. Минимальная мощность НЛВД, достигнутая зарубежными фирмами, составляет 30 – 35 Вт [6]. На Полтавском заводе газоразрядных ламп освоен выпуск маломощных НЛВД мощностью 70, 100 и 150 Вт.

Трудности в создании маломощных НЛДВ связаны с проходом на малые токи и диаметры разрядных трубок, а также с увеличением относительной длины заэлектродных областей по сравнению с межэлектродным расстоянием, что приводит к очень высокой отзывчивости лампы на режим питания, на

Таблица 4

## Маломощные НЛВД массового применения

Название и фирма- производитель	Мощ- ность, Вт	Световой по- ток в нача- ле срока службы, лм	Световой по- ток в конце срока служ- бы, %	Номиналь- ный срок службы, ч	Дли- на, мм	Цо- коль
LucaLox HO GE	50 100	4000 10 000	90	28 500	154 209	E27 E40
SON-T PLUS Philips	50 100	4400 10 500	85 85	—	156 211	E27 E40
VIALOX NAV SUPER Osram	50 100	4000 10 000	85 85	—	156 211	E27 E40

отклонения в конструктивных размерах разрядной трубы и качество материалов [7]. Поэтому при производстве НЛВД малой мощности возрастают требования к соблюдению допусков на геометрические размеры узлов разрядных трубок, к чистоте материалов и точности дозировки наполняющих элементов.

Уже существуют принципиальные технологии, позволяющие освоить массовый выпуск этих экономичных, долговечных источников света. Табл. 4 демонстрирует некоторые параметры маломощных ламп ведущих производителей с прозрачной внешней колбой.

Фирма OSRAM предлагает также серию маломощных ламп, не требующих зажигающего устройства (горелки содержат смесь Пеннинга). Однако их световая отдача на 14 — 15 % ниже, чем у стандартных ламп.

Одно из достоинств ламп, не требующих импульсного зажигающего устройства, — возможность их установки в светильники для ртутных ламп (при прочих необходимых условиях). Например, лампа NAV E 110 со световым потоком 8000 лм вполне взаимозаменяема со ртутной лампой типа ДРЛ-125, имеющей номинальный световой поток 6000 — 6500 лм. Подобные отечественные разработки давно применяются в нашей стране. В настоящее время ОАО ЛИСМА, например, выпускает лампы ДНаТ 210 и ДНаТ 360, предназначенные для прямой замены ДРЛ 250 и ДРЛ 400 соответственно.

### 3. Безртутные НЛВД

В последние годы во многих странах предпринимаются заметные усилия в области охраны окружающей среды. Одно из направлений этих усилий — уменьшение или избежание содержания токсичных соединений тяжелых металлов (например, ртути) в готовых изделиях промышленного производства. Так, медицинские термометры, содержащие ртуть, постепенно заменяются безртутными.

Эта же тенденция широко распространяется в области технологий производства источников света. Содержание ртути в 40-ваттной люминесцентной лампе снизилось с 30 до 3 мг. Что касается НЛВД, этот процесс идет не так быстро, в том числе и потому, что ртуть существенно увеличивает эффективность этих источников света, признаваемых сегодня наиболее экономическими.

Существующие и находящиеся в стадии разработки безртутные лампы, по-видимому, имеют большое будущее. Уже упомянутая серия ламп Osram COLORSTAR DSX не содержит ртуть, что является серьезным достижением фирмы. Однако эти лампы, вместе со специальными электронными ПРА, представляют собой системы специального назначения, в которых их эффективность и простота занимают не первое место.

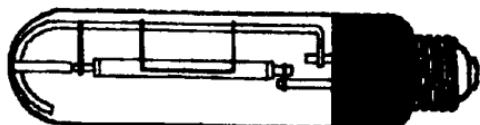
Давно известна серия безртутных ламп Mercury Free фирмы Sylvania. Производитель обращает особое внимание на улучшенные цветопередающие свойства, сравнивая их со стандартными аналогами собственного производства (табл. 5).

Не так давно вышла в свет разработка инженеров фирмы Matsushita Electric (Япония), представляющая собой безртутную НЛВД с высокой цветопередачей, не требующую специального импульсного ПРА [8]. На рис. 2 представлена пробная кон-

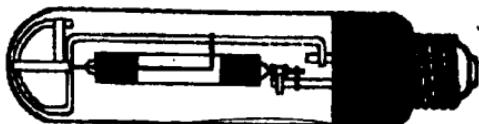
Таблица 5

Безртутная и стандартная НЛВД фирмы Sylvania

Лампа	Световой поток, лм	Цветовая температура, К	Индекс цветопередачи
SHP-TS 150 W Mercury Free	17 000	2200	25
SHP-TS 150 W	17 000	2050	20



а)



б)

Рис. 2. Лампы мощностью 150 Вт с высоким индексом цветопередачи:  
а) безртутная; б) обычный вариант

Таблица 6

**Безртутная и традиционная (с повышенным  $R_a$ ) НЛДВ**

Параметры	Опытная лампа	Традиционная лампа
Наличие ртути	нет	есть
$R_a$	85	85
Цветовая температура, К	2500	2500
Отклонение от линии черного тела	+0,006	0
Световой поток, лм	8000	7000
Срок службы, ч	12 000	9000
Цветовой оттенок в конце срока службы	Желтоватый	Розоватый

струкция такой лампы в сравнении с обычной, содержащей ртуть. Размеры 150-ваттной горелки — диаметр 6 мм, длина 40 мм. (Средний размер волокна горелки из поликристаллического оксида алюминия 20 — 30 мкм, такой же, как у высокоэффективных НЛВД, в то время, как у ртутьсодержащих ламп с высоким  $R_a$  — до 10 мкм). В горелке находится только 3 мг натрия и ксенон под давлением 40 кПа (при 25 °C). Тепловые экраны на обоих концах горелки традиционной лампы в новой лампе не нужны, так как горелка тонкая.

В табл. 6 приведены характеристики ламп мощностью 150 Вт, работающих с индуктивным балластом. Характеристики ламп практически подобны. Цвет излучения обеих ламп близок к

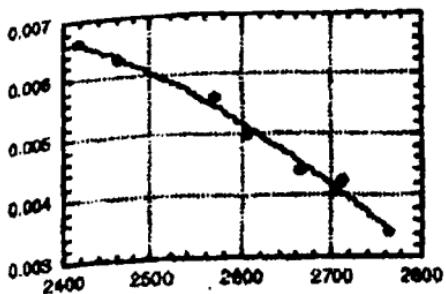


Рис. 3. Зависимость индекса цветопередачи от цветовой температуры

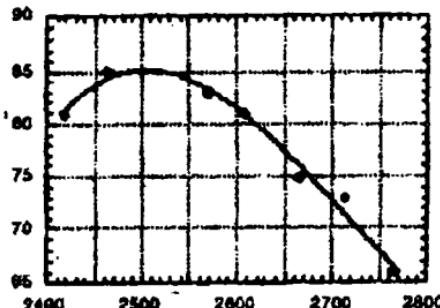


Рис. 4. Зависимость отклонения от линии черного тела от цветовой температуры

цвету излучения лампы накаливания, однако из-за небольшого отклонения от линии черного тела цвет кажется чуть зеленоватым.

В конце срока службы у традиционной лампы цветность излучения приобретает розовый оттенок, вследствие изменения соотношения содержания натрия и ртути в амальгаме. Этот оттенок производит не очень приятное впечатление, в отличие от желтоватого цвета опытной лампы при тех же условиях. С увеличением цветовой температуры  $R_a$  сначала растет до максимального уровня (при  $T = 2500$  К), затем падает (рис. 3). Рис. 4 показывает соотношение между цветовой температурой и отклонения от линии черного тела.

Для уменьшения отклонения разработчики меняли давление ксенона и внутренний диаметр горелки. Были сделаны выводы, что отклонение от линии черного тела уменьшается при увеличении давления ксенона, однако при этом растет напряжение зажигания. При давлении 40 кПа напряжение зажигания около 2000 В, даже учитывая присутствие контура для его облегчения. При изменении внутреннего диаметра с 6 до 6,8 мм отклонение от линии черного тела уменьшается, однако падает световая отдача, что для поставленной задачи недопустимо.

Безртутная натриевая лампа с высоким  $R_a$  имеет практически такие же характеристики, как и ртутьсодержащий аналог. Безртутная лампа имеет в 1,3 раза больший срок службы (вследствие наличия в горелке только натрия). Лампа эксплуатируется с обычным индуктивным балластом и вполне годится для наружного освещения.

#### 4. Натриевые лампы высокого давления с двумя горелками

Появление в последнее время серийных образцов НЛВД с параллельно подключенными горелками у ряда ведущих производителей дает основания полагать, что это направление является перспективным, поскольку подобное решение не только способствует существенному увеличению срока службы ламп, но и устраняет сложности мгновенного перезажигания, расширяет потенциальные возможности комбинирования горелок с различными мощностями, спектральными составами и т. п. В табл. 7 приведены некоторые характеристики ламп фирм GE и Sylvania мощностью 100 и 400 Вт в прозрачной колбе.

Несмотря на указанные солидные сроки службы, к вопросу о долговечности этих ламп нужно подходить осторожно. Срок службы такой лампы действительно удваивается лишь при том условии, что на протяжении жизни лампы горелки зажигаются попеременно.

В противном случае, при окончании ресурса чаще работающая горелка начинает частично шунтировать вторую (это явление иногда называют электрической "течью"; при этом разреженный газ во внешней колбе пробивается напряжением поджигающих импульсов) и, следовательно, могут возникать сложности с ее зажиганием.

Японские инженеры (Toshiba Lighting & Technology

Таблица 7

##### Серийные НЛВД с двумя горелками

Лампа, мощность	Световой поток в начале срока службы, лм	Световой поток в конце срока службы, %	Номинальный срок службы, ч	Длина, мм
GE Lucalox Standby 100	9600	80	40 000	211
GE Lucalox Standby 400	50 000	80	55 000	283
Sylvania SHP-TS Twinars 100	10 000	80	40 000	211

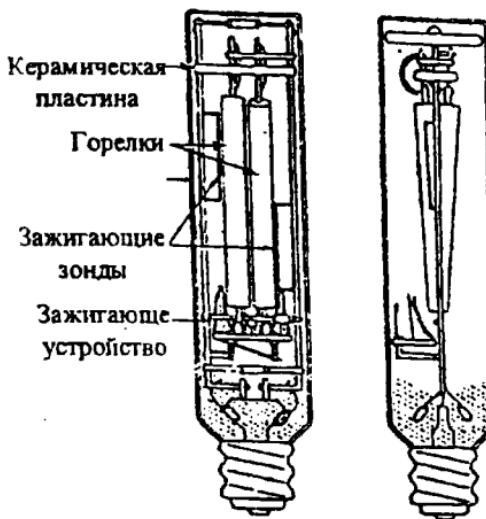


Рис. 5. НЛВД со встроенным зажигающим устройством

Сорпоратион) предлагают оптимальное с их точки зрения решение, позволяющее исключить упомянутые явления в двухгорелочной лампе [8].

Конструкция лампы (рис. 5) содержит два зажигающих зонда, обеспечивающих зажигание той или иной горелки при подаче положительных или отрицательных импульсов. Балласты для таких ламп содержат две катушки, намотанные на сердечник. Схема достаточно проста и недорога. За счет указанной конструкции лампы горелки зажигаются попаременно. Попаременное зажигание горелок обеспечивает меньшее "старение" горелок и существенно увеличивает суммарное время их работы.

Инженеры той же фирмы предлагают лампу со встроенным зажигающим устройством, не требующую сложной схемы управления [9].

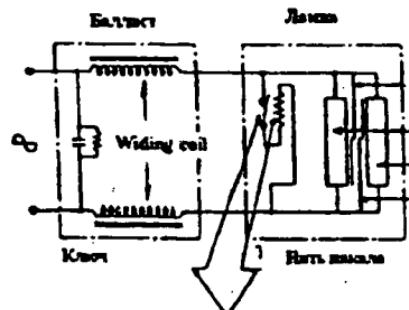
Существующая номенклатура рассматриваемых ламп приведена в табл. 8.

Как было отмечено ранее, лампа обеспечивает удвоенный

Таблица 8

**Параметры НЛДВ с двумя горелками и встроенным зажигающим устройством**

Мощность лампы, Вт	110	180	220	270	360
Цоколь	E39 или E40				
Световой поток, лм	11 000	20 000	28 000	35 000	50 000



Зажигающее устройство

Рис. 6. Схема управления лампой

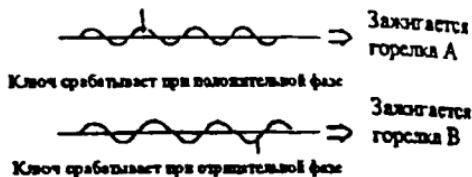


Рис. 7. Распределение зажигающих импульсов

срок службы, может быть установлена в любую существующую осветительную установку и не требует специальной схемы управления.

Встроенное в лампу зажигающее устройство включает в себя нить накала и биметаллический ключ. На рис. 6 представлена диаграмма работы схемы управления лампой.

На рис. 7 схематично представлено распределение "зажигающих" импульсов. На зажигающие зонды подаются попарно отрицательные и положительные полуволны переменного тока. Когда биметаллический ключ срабатывает на положительной фазе напряжения сети — вырабатывается положительный импульс и наоборот. Таким образом, вероятность срабатывания ключа при отрицательном и положительном импульсе равна почти 50 %. В случае использования балласта с двумя катушками вероятность зажигания той или иной горелки практически одинакова.

## 5. Некоторые тенденции совершенствования НЛВД

В каких же направлениях конструкторы и исследователи ищут эффективные решения для НЛВД?

Чтобы ответить на этот вопрос, нужно прежде всего обратиться к явным недостаткам этих ламп, касающихся зрительного комфорта, простоты и необходимой электробезопасности конструкции. Среди них можно выделить несколько принципиальных: плохие цветопередающие свойства, повышенная пульсация светового потока, высокое напряжение зажигания и еще большее — перезажигания.

Судя по характеристикам упомянутых в разделе 1 ламп с высокими цветопередающими свойствами, разработчикам удалось приблизиться к оптимуму для этой группы источников света.

Борьба с пульсацией излучения, достигающей у НЛВД 70—80 %, обычно осуществляется с помощью распространенных методов, таких как включение ламп в разные фазы сети (в многоламповых установках) [1] и питание током повышенной частоты. Использование специальных электронных ПРА практически исключает эту проблему.

Импульсные зажигающие устройства (ИЗУ), эксплуатирующиеся в настоящее время с большинством комплектов НЛВД — ПРА, усложняют эксплуатацию ламп и удороажают комплект лампа — ПРА. Поджигающие импульсы ИЗУ негативно воздействуют на балласт и лампу, имеют место преждевременные отказы этих устройств. Поэтому разработчики ищут способы снижения напряжения зажигания, позволяющие отказаться от ИЗУ.

Проблема обеспечения мгновенного перезажигания обычно решается двумя способами. Можно использовать зажигающие устройства, выдающие импульсы с повышенной амплитудой, или применять упомянутую лампу с двумя горелками, не требующую подобных устройств.

Срок службы у натриевых ламп считается наибольшим среди разрядных источников света высокой интенсивности. Однако и в этой области конструкторы хотят достичь лучшего. Известно, что срок службы и спад светового потока во время эксплуатации зависят от скорости ухода натрия из горелки. Уход натрия

из разряда приводит к обогащению состава амальгамы ртутью и росту напряжения на лампе до тех пор (150 – 160 в), пока она не погаснет [8].

Этой проблеме были посвящены многие исследования, разработки, патенты. Из наиболее удачных решений стоит отметить применяемый в серийных лампах амальгамный дозатор фирмы GE. Конструкция дозатора обеспечивает строго ограниченное поступление амальгамы натрия в разрядную трубку в течение всего срока службы лампы. В результате срок службы увеличивается, затемнение концов трубы уменьшается, и световой поток сохраняется почти постоянным (до 90 % от начального).

Безусловно, исследование и совершенствование НЛВД еще не окончены, и поэтому стоит ожидать новых, возможно неординарных решений в большом семействе этих перспективных источников света.

## Список литературы

1. Роклин Г.Н. Разрядные источники света. М.: Энергоатомиздат, 1991. – 720 с.
2. Петренко Н.П. Расчет, исследование и конструирование натриевых ламп ВД с улучшающими спектральные характеристики добавками: Дис. ...канд. техн. наук. М., 1991.
3. Уэймаус Дж.Ф. Состояние и перспективы развития разрядных источников света. Светотехника, 1987, № 5, 20 – 24 с.
4. Материалы и каталоги фирмы Philips.
5. Материалы и каталоги фирмы Osram.
6. Велит В.А. Расчет, исследования и разработки натриевых ламп высокого давления, предназначенных для прямой замены ламп типа ДРЛ: Автореф. дис.... канд. техн. наук. М., 1990.
7. Григорян А.Н. Исследование и разработка натриевых ламп высокого давления с улучшенными спектральными характеристиками: Автореф. дис.... канд. техн. наук. М., 1990.
8. Труды конференции LUX-Pacifica 95. Натриевые лампы высокого давления с двумя горелками (Akira Itoh, Kazuyoshi Okamura, Hiromichi Shiohama, Mitsuho Kata. Toshiba Lighting & Technology Corporation).
9. Труды конференции LUX-Pacifica 97. Безртутные натриевые лампы ВД с высоким индексом цветопередачи, управляемые с помощью индуктивного балласта. (Naoki Saito, Taku Sumitomo. Matsushita Electric Works, Ltd).

# Безэлектродные СВЧ-газоразрядные лампы

Э.Д. Шлифер

На рубеже ХХ и ХХI веков арсенал источников оптического излучения пополнился новым видом научной продукции, который по оценкам специалистов способен совершить революцию в технике освещения.

Речь идет о создании безэлектродных СВЧ-газоразрядных ламп квазисолнечного света и о начавшемся активном движении на потребительский рынок светильников и комплексных светотехнических устройств, построенных на использовании этих ламп, получивших известность под названием серных (по виду основного рабочего вещества - наполнителя).

У серной лампы, как и у большинства качественно новых объектов, появляющихся в результате научных и инженерных разработок, есть своя предыстория, не имеющая точной даты начала отсчета, но включающая в себя некоторые базовые этапы и заметные вехи на том или ином рассматриваемом отрезке пути.

В этой связи можно отметить, что эффекты возникновения оптического излучения (ОИ) при взаимодействии переменного электромагнитного поля с веществом в его различных агрегатных состояниях наблюдались, изучались и даже использовались на протяжении уже более ста лет. Развитие источников электромагнитных колебаний в направлении повышения уровней мощности и генерируемых частот способствовало, в частности, и расширению исследований и применений безэлектродного газового разряда в высокочастотных (ВЧ), а затем и в сверхвысокочастотных (СВЧ) электромагнитных полях.

Полвека спустя после того, как Н. Тесла высказал (1891 г.) мысль о возможности возбуждения излучающего газового разряда электромагнитным ВЧ-полем, Г.И. Бабат вполне определенно прогнозировал (1942 г.) будущее использование без-

электродных (индукционных) ВЧ-разрядов для создания “высокоинтенсивных экономичных источников света”. Заметим, что на этот прогноз впервые обратил внимание д.т.н. Г.Н.Рохлин в статье, посвященной серной лампе [1].

Понадобилось еще полвека для уверенного вторжения в ряды прочих источников света осветительных безэлектродных индукционных (ВЧ-газоразрядных) ламп с люминофорами (QL, Genura, Endura — [2]) и почти одновременного появления первых безэлектродных СВЧ-газоразрядных источников света [3].

Следует упомянуть, что собственно эффект инициирования безэлектродного газового разряда СВЧ-электромагнитными полями и возникновения при этом ОИ известен специалистам многих областей науки и техники, связанных с созданием СВЧ-генераторов и усилителей и с применением их и вообще СВЧ-энергии в различных исследованиях (в т.ч. исследованиях плазмы) и устройствах как военной, так и народнохозяйственной ориентации. Одним из примеров широкомасштабного использования безэлектродного СВЧ-газового разряда в 40-60-е годы в технических устройствах является такая область, как антенные переключатели радиолокационных станций, бурно развивавшихся в этот период. Однако ОИ СВЧ-газового разряда в этих и многих других случаях — это побочный эффект, не использовавшийся в осветительных целях. В СССР в конце 70-х гг. (предприятие “Плутон”) попытки использования светового излучения СВЧ-газового разряда в качестве “полезного продукта” были реализованы в лабораторных мозаичных индикаторах, предназначавшихся для визуализации топографии СВЧ-полей в рабочих камерах микроволновых печей. Здесь также речь не шла об осветительных устройствах.

За рубежом эффект преобразования СВЧ-энергии в ОИ был успешно (в 70-е гг.) использован для целей разработки технологических УФ-облучателей, в совершенствовании и применении которых специализировалась в США корпорация Fusion System огортация (FS).

В УФ-облучателях FS источниками ОИ служили главным образом аргоно-ртутные безэлектродные лампы с СВЧ-накачкой как на частотах 915 — 928 МГц, так и на частоте 2450 МГц. Среди различных опробованных форм этих ламп небезосно-

вательно было отдано предпочтение сферической, хотя и другие не предавались забвению. В ходе работ специалистам FSC пришлось и удалось преодолеть немало проблем, связанных, например, с обеспечением благоприятных условий для устойчивого генерирования и передачи в разряд мощности СВЧ-накачки, с отысканием оптимального состава наполнителей, температурного режима ламп и др.

В сентябре 1992 г. на VI Международном симпозиуме по науке и технологии источников света в Будапеште было сделано первое впечатляющее сообщение о создании нового высокоэффективного источника квазисолнечного света на базе безэлектродной газоразрядной лампы с аргоно-серным наполнением сферической кварцевой колбы и с СВЧ-накачкой на частоте 2450 МГц [3].

Привлекательность нового источника света была признана специалистами, но ведущие фирмы, развивающие собственные, традиционные для них, направления в создании и выпуске светотехнических изделий, отнюдь не спешили заняться разработкой новых микроволновых световых приборов, располагающихся на стыке ряда весьма непростых (а то и отпугивающих) технологий и разнопрофильных областей науки и техники.

Сохранение в 90-х гг. собственной научно-производственной стратегии таких фирм как Philips, General Electric Lighting, Osram, Osram — Sylvania, приведшее к соответствующим успехам в создании безэлектродных ВЧ газоразрядных ламп с люминофорами, обусловило достаточно благоприятное для FSC "пространство", не занятое конкурирующим дублером именно в сфере СВЧ-газоразрядных источников ОИ.

Не возникло посягательств на это пространство и со стороны фирм, специализирующихся на создании и производстве различных СВЧ-установок, в частности, бытовых и промышленных микроволновых печей, тогда как технологические и кадровые возможности таких фирм, казалось бы, могли побудить разработчиков к созданию микроволновых световых приборов.

В этих условиях развитие работ по СВЧ-световым приборам, начатое в FSC и затем продолженное выделившимся из FSC компанией Fusion Lighting, нашло поддержку (моральную и фи-

нансовую) со стороны ряда организаций и учреждений, в которых достаточно быстро созрело понимание перспективности нового долговечного энергосберегающего, экологически чистого источника квазисолнечного света.

Среди таких учреждений должны быть названы по крайней мере Департамент энергетики США (DOE), NASA, Агентство по охране окружающей Среды (EPA). Уже этот неполный перечень "спонсоров" позволяет оценить, реализация каких именно достоинств и возможностей нового средства освещения являлась желаемым результатом.

20 октября 1994 г. в Вашингтоне состоялась эффектная и "широковещательная" презентация двух мощных осветительных систем — одной в Смитсоновском Национальном музее воздухоплавания и космонавтики (NASM) — параметры см. табл. 1, другой (сдвоенной) — у головного здания (Forrestol Building) Департамента энергетики (DOE).

В отличие от эффекта первого сообщения (в 1992 г.), эта демонстрация вызвала широкий резонанс в прессе — с одной стороны, и привлекла внимание ученых и инженеров к новому объекту — с другой.

Обе системы освещения были построены с использованием максимально выигрышного сочетания новинок: СВЧ-светового источника на серной лампе и полого призматического световода.

СВЧ-световой источник (базовый СВЧ-ламповый модуль) является сложным устройством, содержащим ряд элементов, идеологически и технически необходимых для осуществления физического механизма преобразования СВЧ-энергии в оптическое излучение. Кроме этого, естественно, имеются функциональные блоки, узлы и компоненты, обеспечивающие требуемые электрические и тепловые режимы СВЧ-генератора накачки — магнетрона и горелки — серной лампы, устройства очистки охлаждающего воздуха, схемы защиты и управления, устройства вращения горелки и, конечно же, оптическая система — рефлектор.

Как и в любом агрегате, в базовом СВЧ-ламповом модуле использованы порой специфические механические, электрические и тепловые контактные сочленения, а также ряд других, на первый взгляд — второстепенных, а на деле — важных элементов.

## Характеристика "серных" ламп и СВЧ-световых приборов (с учетом разных источников информации)

Характеристика	Базовый образец	Образец в свето-системе NASM 1994 г.	Усовершенствован-ный образец 1995/1996 г.	Образец Solar 1000™ 1996 г.	Образец Lightdrive 1000™ 1997—98 г.	Образец Perpetual Light Pump
Полный световой поток, кДм	410	445	480	135	135 — 140	133*
Пульсация, %				15	< 5	
Мощность СВЧ-нагревки, кВт	3,4	3,1	3,1	1,0	1,0	1,0
Потребляемая мощность от сети, кВт	6,3	5,9	5,1	1,375 — 1,475	1,4	1,4*
Коэффициент мощности ( $\cos \varphi$ )	0,93 — 0,94	0,93 — 0,94	0,93 — 0,94	0,93 — 0,94	0,99	0,99*
Световая отдача СВЧ-лампового модуля, лм/Вт СВЧ	~120	~143	~135	135	135 — 140	133
Световая отдача установки, лм/Вт	~65	~75	91,5 — 98	91,5 — 98	98 — 100	95
Цветовая температура, К	6500	6300	~6000	~6000	~6000	~6000
Общий индекс цветопередачи	86	86	86	~79	78 — 79	~79
Средний диаметр свечущегося тела, мм	~25 — 28	~25 — 28	~25 — 28	~29 — 30	~28	~28
Время разогревания, с	< 5	5	< 5 — 15	15 — 25	15 — 25	15 — 25
Условия охлаждения лампы	принуд. возд. с вращ. горелки	принуд. возд. с вращ. горелки	естеств. возд. с вращ. горелки	естеств. возд. с вращ. горелки	естеств. возд. с вращ. горелки	естеств. возд. с вращ. горелки
Наличие регулирования светового потока	—	—	—	имеется монодиф. с ручной регул.	Возможна	
Масса СВЧ-лампового модуля + источник питания, кг	нет светлений	нет светлений	нет светлений	0 + 22 = 28	7,6	~9 *
Аппарата отражателя	круглая	круглая, совмес-тимая со свето-водом Ø250 ММ	круглая, со-вместимая со свето-водом Ø250 ММ	а) круглая, со-вместимая со световодом Ø250 ММ;	52 разъема с выходом на волоконные световоды Ø12 ММ	
*) Предположительные данные						

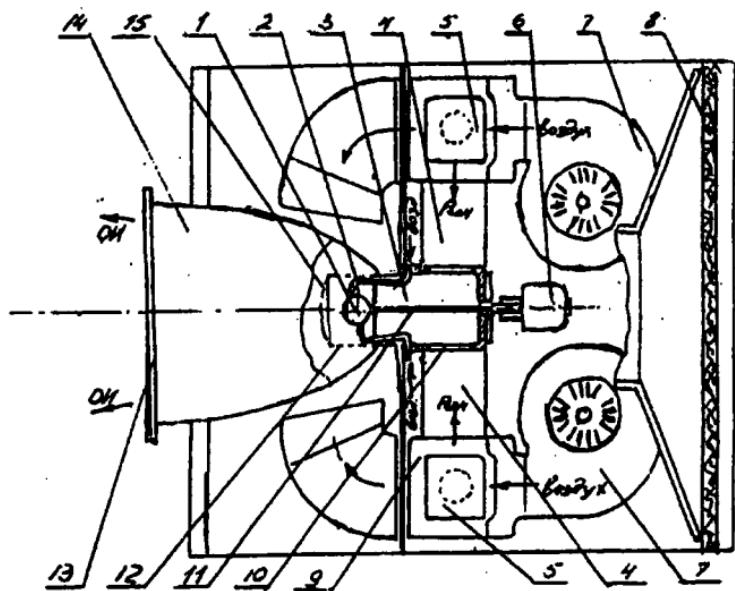


Рис. 1. Схема устройства СВЧ-лампового модуля в NASM:

1 — серная лампа (горелка); 2 — сопло охлаждения лампы; 3 — СВЧ-резонатор; 4 — СВЧ-тракты; 5 — магнетроны накачки; 6 — электродвигатель вращения лампы; 7 — вентиляторы; 8 — воздушный фильтр; 9 — СВЧ-адаптер; 10 — СВЧ-возбудитель; 11 — держатель лампы; 12 — боковая сетчатая стенка СВЧ-резонатора; 13 — выходная аппертура ОИ; 14 — формирователь светового потока; 15 — торцевая сетчатая стенка СВЧ-резонатора

Однако их рассмотрение не входит в задачу настоящего обзора. Более того, за его рамками мы преднамеренно оставляем проблемы, технические решения и характеристики, относящиеся собственно к световодам и к осветительной системе в целом. Это — самостоятельная тема.

На рис. 1 схематично показано устройство СВЧ-лампового модуля, использованного в системах освещения, сооруженных в NASM и у Forrestol Building.

Соответствующая этому построению обобщенная блок-схема, раскрывающая принцип действия СВЧ-светового прибора, представлена на рис. 2. В этой схеме реализуется ступенчатое пре-

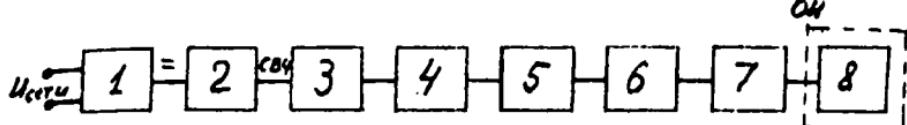


Рис. 2. Блок-схема СВЧ-светового прибора:

1 — источник вторичного питания; 2 — магнетронный генератор СВЧ-колебаний; 3 — СВЧ-адаптер; 4 — СВЧ-тракт; 5 — СВЧ-возбудитель; 6 — светопрозрачный СВЧ-резонатор; 7 — безэлектродная серная лампа; 8 — формирователь светового потока

образование энергии, потребляемой от сети переменного тока, в энергию оптического излучения. Промежуточные ступени: а) преобразование энергии переменного тока в энергию постоянного тока и б) преобразование энергии постоянного тока в энергию электромагнитных волн СВЧ-диапазона, будем считать не требующими здесь специального рассмотрения. Упомянем лишь, что первую ступень преобразования обеспечивает источник вторичного питания, с выхода которого, в частности, "снимается" выпрямленное (отрицательное относительно "земли") напряжение, подаваемое на катод СВЧ-генератора — магнетрона.

Вторую ступень преобразования обеспечивает магнетрон, с "выхода" которого через стыковочный СВЧ-адаптер, волноводный тракт и излучатель СВЧ-волны "доставляются" в СВЧ-резонатор, создавая в нем электромагнитное поле с наперед выбираемой (задаваемой) структурой (топографией) и амплитудой электрической ( $E$ ) составляющей в зоне размещения серной лампы.

Процесс преобразования СВЧ-энергии (энергии накачки) в ОИ характеризуется определенной феноменологической последовательностью. После включения магнетрона, как только амплитуда электрической составляющей СВЧ- поля в резонаторе (в зоне размещения серной лампы) достигнет соответствующего потенциала зажигания, возникает СВЧ-разряд в смеси буферного газа (аргона) и ненасыщенных паров серы, находящейся пока в твердофазном состоянии. Лампа на этой стадии излучает

линейчатый спектр, соответствующий типичным энергетическим переходам в атомах аргона и серы. При этом в спектре ОИ присутствуют весьма заметные уровни составляющих в УФ и ИК областях.

По мере поглощения СВЧ-энергии разрядом низкого давления, роста числа актов ионизации концентрация зарядов в плазме растет, растет и бомбардировка (главным образом за счет наиболее подвижных носителей заряда — электронов) оболочки (колбы) лампы, на которой с той или иной степенью неоднородности осаждается сера (например, после предыдущего выключения и остывания лампы). В результате бомбардировки, (преимущественно в направлении силовых линий электрического СВЧ-поля) быстро растет температура колбы, растет и парциальное давление паров серы. Это процесс проходит стадию плавления разных полиморфных модификаций серы (112,8; 119,3 °C), а затем стадию ее полного испарения (температура кипения:  $T_{\text{кип}} = 444,6$  °C), когда концентрация молекул серы в колбе становится весьма большой. В установившемся режиме плазмы (в разряде высокого давления) результирующий спектр ОИ носит “молекулярный” характер, обусловленный множественностью энергетических состояний, включая вращательные и колебательные состояния молекул. Спектр становится сплошным и типичные линии (в том числе в УФ и ИК областях) как бы утопают в этом спектре, хотя за счет общего нагрева колбы в сплошном спектре ОИ ИК-“крыло” оказывается более приподнятым, чем УФ-участок. Эта особенность спектра в целом сохраняется при различных уровнях мощности СВЧ-накачки и при различных исходных количествах серы в лампе данного размера, хотя при прочих равных условиях общее “смещение” сплошного спектра в “синюю” или “красную” область может быть управляемым за счет изменения исходного количества серы, а также за счет введения тех или иных добавок в рабочее вещество. В качестве такой добавки (а то и полного заменителя серы) специалисты Fusion Lighting называют селен. В этом случае особенностью процесса установления стационарного режима плазмы является то, что селен имеет более высокие температуры плавления (221 °C) и кипения (685,3 °C) и соответственно, конденсации после выключения СВЧ-накачки. Это означает, что

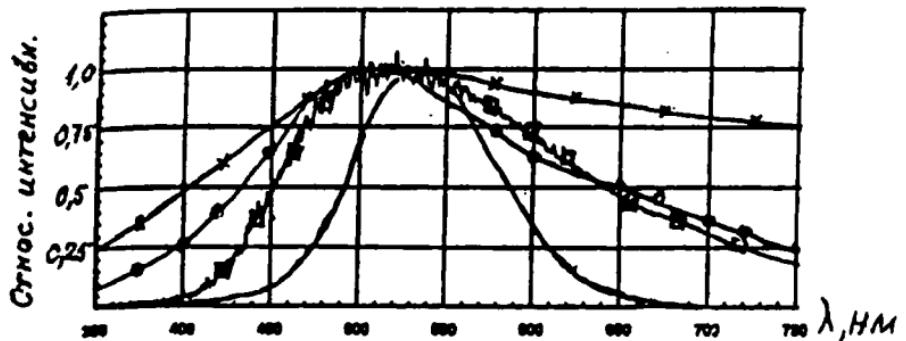


Рис. 3. Спектральное распределение энергии излучения:

— Солнца; —●— серной лампы; —■— серной лампы Solar 1000™ Lightdrive 1000; — кривая относительной световой спектральной эффективности

на разных стадиях установления режима плазмы и температуры оболочки парциальные давления в парогазовой смеси аргона, серы и селена будет меняться неодинаково, а то и ступенчато, что найдет свое отражение и в характере спектра ОИ в переходном и стационарном режиме.

Применительно к серной лампе, использованной в световом приборе NASM, в [4] приводится спектральное распределение, показанное на рис. 3. Там же представлены "солнечный" спектр и кривая видности человеческого глаза. Как можно усмотреть из рис. 3, максимум спектральной плотности ОИ серной лампы NASM находится в зоне 500 нм (что соответствует "голубоватому" свету).

В более поздней разработке Fusion Lighting (Solar 1000™), о чем будет сказано ниже, кривая спектральной плотности сдвинута в "красную" сторону. Это отражено на том же рис. 3.

Возвращаясь к рис. 1, рассмотрим особенности построения светового прибора в NASM. Существенной особенностью СВЧ-лампового модуля является использование для СВЧ-накачки двух магнетронов непрерывного действия, обеспечивающих суммарную среднюю мощность до 3,4 кВт. Заметим, что выбор двух относительно маломощных (1,7 кВт) магнетронов, работающих на общую нагрузку, вместо одного мощного, отнюдь не случаен. Одной из причин такого выбора является то, что

промышленные магнетроны (на частоты 2450 МГц) со средней мощностью 2 кВт, как правило, имеют жидкостное охлаждение, а менее мощные — воздушное принудительное. Введение в СВЧ-ламповый модуль циркуляционной жидкостной системы с присущими ей фильтрами, вентилятором, радиатором и помпой, существенно усложнило бы конструкцию модуля и условия его эксплуатации. Использование же воздушного охлаждения, хотя и требует введения в модуль мощных вентиляторов и (или) компрессоров, и, опять таки, фильтров, но уже воздушных, решает сразу две задачи: съем тепла с магнетрона и обдув кварцевой сферической колбы серной лампы.

Необходимость принудительного обдува горелки в описываемых СВЧ-ламповых модулях обусловлена тем, что при использовании сферической горелки с наружным диаметром ~30 мм с поверхности кварцевой колбы невозможно “снять” тепло только за счет излучения и естественной конвекции, не превышая при этом температуры 925 °С, названной авторами [4] рабочей. Не принимая это значение догматически, но допуская, что именно такая температура соответствует данному стационарному состоянию плазмы и конкретному сочетанию полученных световых характеристик, мощности СВЧ-накачки, давления паров серы и размеров светящего тела, отметим, что температуру более 900 °С следует признать весьма высокой для оболочки, если даже предположить, что это значение не является средним, а относится к самой горячей точке (зоне).

Так или иначе, напряженный тепловой режим горелки и окружающих ее элементов, об особенностях которых будет сказано ниже, заставляет разработчиков собственно лампы и СВЧ-лампового модуля в целом заботиться и о чистоте (безводности, беспримесности) кварцевого стекла лампы, и о неагрессивности и обеспыленности охлаждающего воздуха, и о распределении воздушных потоков по поверхности колбы с учетом их переотражений от близко расположенных тел и, главное, с учетом топографии СВЧ-полей, взаимодействующих с плазмой.

В СВЧ-ламповом модуле, показанном на рис. 1, важно отметить еще и следующие особенности. Принципиально необходимым элементом является СВЧ-резонатор, представляющий собой короткозамкнутый отрезок круглого волновода, часть сте-

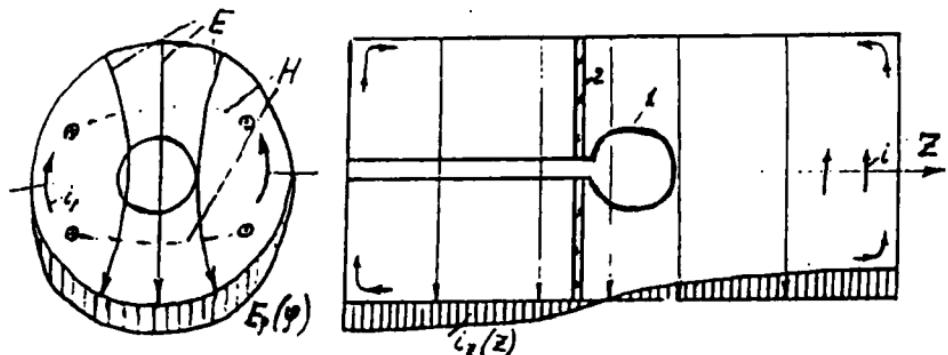


Рис. 4. Структуры СВЧ-полей и токов для  $TE_{11}$  вида колебаний в цилиндрическом резонаторе

нок которого (боковая и торцевая) образована сеткой (СВЧ-экраном). Эта сетка обеспечивает компромиссно приемлемую светопрозрачность, воздухопроницаемость и СВЧ-непрозрачность.

СВЧ-резонатор в рассматриваемом модуле возбуждается на виде колебаний, структура электромагнитного поля для которого близко соответствует поперечно-электрической волне  $TE_{11}$  ( $H_{11}$ ).

Однако в СВЧ-резонаторе присутствуют дихроичный рефlector, серная лампа и сопла ее воздушного охлаждения. Эти элементы определенным образом возмущают "идеальную" топографию СВЧ-поля  $TE_{11}$  волны, причем в предстартовом состоянии лампы, в режиме "разгорания" (развития СВЧ-разряда) и в стационарном состоянии плазмы эти возмущения существенно различны. Поэтому можно говорить лишь о подобии структур реального СВЧ-поля и поля  $TE_{11}$  — волны в круглом волноводе. Тем не менее, главная особенность топографии этих электромагнитных полей остается. Она состоит в том, что электрическая ( $E$ ) составляющая СВЧ-поля направлена поперек оси резонатора, как это видно из рис. 4, где для простоты не показаны сопла воздушного охлаждения. Эпюры распределения амплитуд  $E$ -поля вдоль оси и по азимуту иллюстрируют то обстоятельство, что горелка оказывается примерно в пучности  $E$ -поля. Это означает, что носители зарядов под действием этого поля будут совершать колебания преимущественно вдоль линий

Е, поперек оси СВЧ-резонатора, независимо от того, как она расположена (горизонтально или вертикально), то есть в присутствии электромагнитного поля СВЧ-накачки при больших амплитудах Е можно ожидать неоднородного нагрева оболочки, бомбардируемой электронами и ионами. Этот "механизм" неоднородного нагрева колбы является доминирующим и на его фоне процессы столкновения в плазме и действие гравитационных сил не меняют принципиально характера теплораспределения в теле и на поверхности колбы. Более того, как видно из рис. 4, распределение СВЧ-токов в стенках СВЧ-резонатора также азимутально неоднородно, и повышенный нагрев стенок в зонах концентрации СВЧ-токов только усугубляет неоднородность распределения температур колбы, в том числе и в результате отраженных от этих горячих зон и исходящих конвекционных тепловых потоков.

Из всего сказанного о топографии СВЧ-поля в резонаторе и о неоднородности в распределении температуры колбы ясно, что если бы в СВЧ-ламповом модуле не было принято специальных мер, то, во-первых, светящее плазменное тело в сферической колбе не было бы равноярким и имело бы несферическую форму и, во-вторых, оболочка имела бы две относительно "горячие" и две "холодные" зоны. Последнее чревато перегревом (вплоть до проплавления) кварцевой оболочки в горячих зонах — с одной стороны, и конденсацией серы (после выключения горелки) в холодных зонах, что может замедлить повторное зажигание, — с другой.

Возвращаясь к рис. 1, видно, что упомянутыми мерами являются следующие.

1. Введение вращения горелки вокруг оси СВЧ-резонатора, что даже в отсутствие принудительного обдува обеспечивает азимутальную однородность (на каждой "широте") в распределении температуры, при азимутально неоднородном распределении СВЧ-поля. Это, однако, не обеспечивает меридиональной однородности температуры в направлении от "экватора" сферы к полюсам.

2. Введение уже упоминавшихся сопел обдува во внутреннюю полость СВЧ-резонатора. При этом предусмотрен выброс воздушных струй на разных широтах сферы с тем, чтобы обеспечить

не только непревышение допустимой рабочей температуры, но и ее однородность в меридианальном направлении (как на экваторе, так и на полюсах). В то же время указанная мера в отсутствие вращения горелки недостаточно эффективна.

Полезно иметь в виду, что если в СВЧ-ламповом модуле выключить СВЧ-накачку, то есть погасить горелку, но не прекращать вращение горелки, то в процессе остывания колбы и конденсации серы на ее внутренней поверхности характер оседания и стекания (растекания) расплава серы зависит и от центробежных, и от гравитационных сил, и от исходного (до выключения) местоположения наиболее горячей зоны, и от местоположения наиболее охлажденной зоны колбы к моменту достижения в ней температур фазовых переходов серы: сначала от парообразного состояния к жидкому (примерно 444,6 °C), затем от жидкого к твердому (примерно 112 °C).

Легко видеть, что повторное зажигание может быть осуществлено тем быстрее, чем интенсивнее производится охлаждение колбы и, соответственно, чем быстрее спадает парциальное давление паров серы в парогазовой смеси аргона и серы. Сокращению времени перезажигания способствует не только прекращение вращения лампы, но и прекращение интенсивного обдува.

Из прочих особенностей СВЧ-лампового модуля на рис. 1 в соответствии с блок-схемой (рис. 2) надо выделить следующие. Каждый из двух магнетронов соединяется со своим СВЧ-трактом, канализирующим СВЧ-энергию в СВЧ-резонатор на волне  $TE_{10}$  в прямоугольном волноводе. Сочленение магнетрона осуществляется посредством СВЧ-адаптера, представляющего собой коаксиально-волновой переход (КВП). КВП образован зондовой излучающей антенной выходного устройства магнетрона, погруженной в прямоугольный волновод сквозь отверстие в середине его широкой стенки, как это делается во многих типах обычных микроволновых печей. Каждый СВЧ-тракт на выходе электродинамически связан с СВЧ-резонатором через щель, выполненную в его боковой стенке параллельно оси. Такое расположение щели на стыке СВЧ-тракта и СВЧ-резонатора связывает последнему распределение СВЧ-токов и полей, соответствующее той их структуре, которая присуща  $TE_{11}$ -волне

( $\text{TE}_{111}$  — виду колебаний). Тем самым щели связи являются возбудителями рабочего вида колебаний. В СВЧ-световом модуле по рис. 1 из [5] не предусмотрено (или не показано) каких-либо дополнительных связывающих или трансформирующих элементов в СВЧ-тракте и в адаптере, обеспечивающих устойчивую работу магнетронов в условиях существенно меняющейся СВЧ-нагрузки (в период от предстартового до стационарного состояния горелки). Эта проблема на сегодня имеет ряд удовлетворительных технических решений, как уже реализованных в микроволновых печах и световых приборах, так и только предложенных к патентованию.

В известных публикациях и докладах, представленных специалистами компании Fusion Lighting, относительно мало внимания удалено источнику вторичного питания, который в приведенной выше “цепочки” преобразования энергии, потребляемой от сети переменного тока, в энергию оптического излучения играет важную роль.

Использование тривиального однофазного источника с феррорезонансным стабилизатором и двухполупериодным выпрямлением без фильтрации (то есть со 100 %-ной модуляцией выпрямленного напряжения) обеспечивает амплитудную модуляцию светового потока (фликкер-эффект) около 16 % с частотой 120 Гц (стандартная частота сети в США — 60 Гц).

Такое мерцание не фиксируется человеческим глазом, хотя на биологическом уровне может оказаться утомляющим фактором, вызывающим ощущения дискомфорта. В техническом аспекте такой источник вторичного питания также не является наилучшим: он имеет значительные габариты и массу и, кроме того, является индуктивной нагрузкой для питающей сети, что снижает коэффициент мощности ( $\cos \varphi \approx 0,94$ ).

Поэтому в создании следующего поколения серных ламп и световых приборов с СВЧ-накачкой совершенствованию источника питания (и, в частности, в направлении расширения его функциональных возможностей в части стабилизации и регулировке режима магнетрона и уровня светового потока) было удалено особое внимание.

В этой сфере отмечается развитие контактов компании Fusion Lighting с европейскими и азиатскими фирмами — партнерами,

располагающими соответствующим научно-техническим потенциалом. Иллюстрацией к этому может служить появление совместных патентных заявок специалистов Fusion Lighting и японской компании Sony [6] и выход на рынок нового светового прибора Lightdrive 1000™, являющегося по существу совместным продуктом фирм Celsius Tech. Electronic (Швеция) и Fusion Lighting (США).

По замыслу разработчиков Fusion Lighting световые приборы на серной лампе с СВЧ-накачкой должны были составить ряд, охватывающий и мощные источники света со световым потоком сотни клем (с СВЧ-накачкой ~3 кВт), и маломощные (со световым потоком до десятка клем и СВЧ-накачкой на уровне 100 Вт, где остаются надежды на использование долговечных твердотельных СВЧ-генераторов и источников питания). Однако оказалось, что осуществление маломощных серных ламп и световых приборов отнюдь не простая задача — с одной стороны, и не самая впечатляющая — с другой. Поэтому развитие пошло не традиционным путем, от менее мощных приборов к более мощным, а наоборот.

Первым результатом в этом направлении явилось создание уже упоминавшегося светового прибора Solar 1000tm, предназначенного для использования в сочетании с теми же полыми призматическими световодами, что и в мощной системе освещения, смонтированной в NASM (см. табл. 1).

Для достижения той же освещенности вместо одной такой мощной системы потребовалось бы, скажем, три системы Solar 1000™, (что, соответственно, делает более дорогостоящим необходимый для этого комплект световодов). Однако речь идет не просто о замене мощной системы рядом менее мощных (хотя и такая альтернатива может рассматриваться). Дело в том, что мощной системе, такой как использованная в NASM, присущ ряд недостатков, а кроме того, далеко не всегда нужен столь мощный поток ОИ (несколько сот клем).

К числу недостатков мощного светового прибора, отмечавшихся самими разработчиками из Fusion Lighting, следует отнести, во-первых, громоздкость СВЧ-светового модуля и источника питания, во-вторых, высокий уровень акустического шума, связанный с использованием двух мощных вентиляторов

и "свистящих" сопел обдува серной лампы, в-третьих — значительный "вынос" тепла в окружающее пространство вблизи светового прибора (хотя это тепло в отдельных применениях может быть полезно использовано) и, в-четвертых, необходимость тщательной экранировки СВЧ-излучений для обеспечения экологически безопасных уровней и во избежание радиочастотного загрязнения "эфира" помеховыми сигналами. Меры по уменьшению уровней просачивающейся СВЧ-энергии через сетчатые стенки СВЧ-резонатора могут повлечь за собой и некоторую утрату светопрозрачности, то есть снижение результирующей световой отдачи. Тем не менее, у мощных систем есть свои приоритетные сферы применения. Можно, например, представить себе освещение крытых стадионов, катков и других весьма высоких сооружений, где указанные недостатки не столь существенны. Например, на стадионе собственный шум существенно выше шума светового прибора, кроме того, световой прибор может быть вынесен за периметр зрелищной площадки.

Все же в практике пока не наблюдается тиражирования мощных световых приборов, тогда как несколько менее мощный источник — Solar 1000<sup>TM</sup>, в значительной мере свободный от перечисленных недостатков и наделенный рядом достоинств, совершают все более заметную экспансию и становится объектом первоочередного совершенствования. Можно полагать, что среди мотивов, побудивших Fusion Lighting и ее партнеров форсировать работы именно этого направления, не последнее место занимают следующие.

Во-первых, при уменьшении СВЧ-мощности, приходящейся на единицу разрядного объема лампы, без утраты квазисолнечного спектрального состава ОИ плазмы, но при уменьшенных полном потоке ОИ и энергии бомбардировки оболочки лампы свободными зарядами (ускоряемыми СВЧ-полем), существенно уменьшается тепловая нагрузка колбы. В этих условиях оптимизация уровня мощности СВЧ-накачки, мощности выходного потока ОИ, режима и размеров лампы открывает возможность отказаться от принудительного обдува (но не от вращения) лампы и, следовательно, упразднить сопла, упростить конструкцию СВЧ-лампового модуля в целом и улучшить электродинамические характеристики и светопрозрачность СВЧ-ре-

зонатора. Правда, в отсутствие принудительного обдува лампа остывает медленнее, что несколько увеличивает время перезажигания. В осуществление упомянутой оптимизации в Solar 1000™ использовано одновременно два средства: увеличение диаметра серной лампы (диаметр 35 мм вместо 29 мм у прототипа) и снижение мощности СВЧ-накачки (приблизительно 1 кВт вместо 3 — 3,4 кВт). При этом и световой поток, излучаемый плазмой уменьшенной плотности, также уменьшен с 480 кЛм примерно до 135 кЛм. В то же время большая лампа в отсутствие сопел обдува не потребовала для своего размещения увеличения размера СВЧ-резонатора. Напряженность электрического СВЧ- поля с уменьшением мощности накачки приблизительно в 3 раза уменьшилась только  $\sqrt{3}$  раз, что с учетом увеличения диаметра лампы и, соответственно, увеличения зоны взаимодействия СВЧ-поля с веществом — наполнителем, не привело к ухудшению стартовых условий и даже увеличило световую отдачу.

Во-вторых, уменьшенный уровень мощности СВЧ-накачки позволяет использовать один магнетрон, традиционно применяемый в бытовых СВЧ-печах. Печные магнетроны выпускаются массовыми тиражами, постоянно совершенствуются и уже в настоящее время имеют реальную долговечность приблизительно 15 000 часов. Эти магнетроны достаточно устойчиво работают на резко меняющуюся нагрузку, не требуют для охлаждения слишком большого расхода воздуха, и поэтому можно ограничиться использованием маломощных малошумящих вентиляторов. Применение одного магнетрона и одного СВЧ-тракта упрощает общую компоновку СВЧ-лампового модуля.

В-третьих, уменьшение мощности СВЧ-накачки и, соответственно, использование одного относительно маломощного печного магнетрона ( $P_{\text{вых}} \approx 1000$  Вт) вместо двух мощных ( $P_{\text{вых}} \approx 1700$  Вт) упрощает и облегчает источник питания даже при сохранении принципиальной схемы его построения. Если же иметь в виду использование в СВЧ-световом приборе инверторного источника с преобразованием частоты и с введением схемы широтно-импульсной модуляции (что можно считать отработанным и реализованным в современном поколении СВЧ-печей), то становится очевидной возможность моноблочного по-

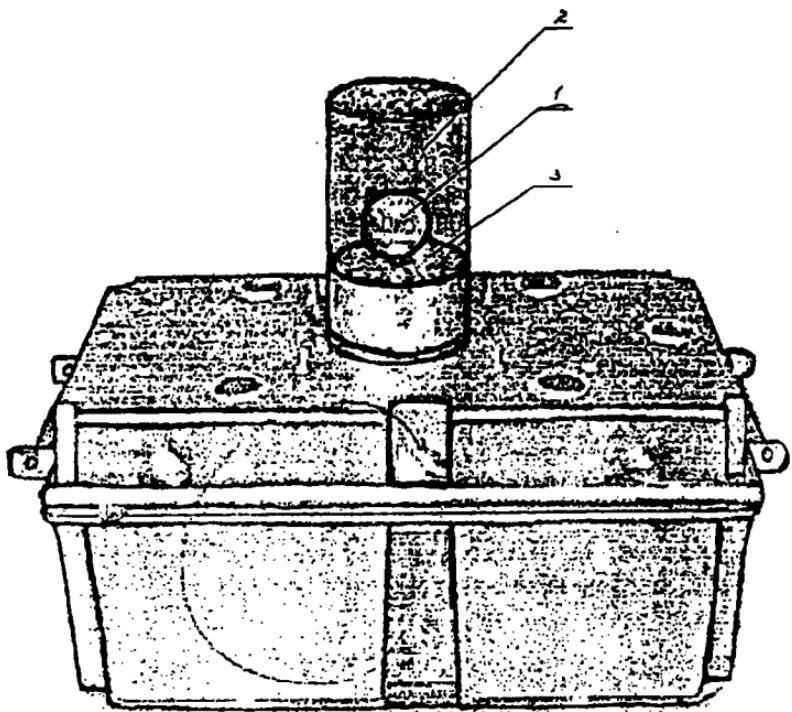


Рис. 5. Моноблочный СВЧ-ламповый модуль Lightdrive 1000<sup>TM</sup>. Формирователь светового потока снят.

1 — серная безэлектродная лампа; 2 — светопрозрачный СВЧ-резонатор; 3 — дихроичный отражатель

строения легкого и малогабаритного СВЧ-светового прибора.

Все эти соображения (и не только они) в 1995 — 1997 гг. привели к появлению в предполагаемом ряду СВЧ-световых приборов двух соседствующих с мощным прибором NASM менее мощных: сначала Solar 1000<sup>TM</sup>, а затем и его модификации Lightdrive 1000<sup>TM</sup>. Следующих, еще менее мощных, “соседей” по ряду пока не появилось, хотя работы по их созданию проводятся, в частности, в компании Fusion Lighting.

В табл. 1 представлены некоторые характеристики, отражающие динамику совершенствования приборов на серных лампах и создания их модификаций.

На рис. 3 представлены спектральные характеристики, относящиеся к стационарному режиму плазмы.

На рис. 5 показан внешний вид моноблочного СВЧ-лампового модуля со встроенными источником питания, схемами стабилизации и управления режимом, устройствами вращения горелки и охлаждения магнетрона. Этот моноблок системы Lightdrive 1000<sup>TM</sup> представлен без оптической системы (рефлектора).

Конструкции рефлекторов, совместимых с СВЧ-ламповыми модулями Lightdrive 1000<sup>TM</sup>, предусматривают три варианта формирования светового потока. Два из них обеспечивают оптическую совместимость с серной лампой и с полыми призматическими световодами (диаметром 254 мм и диаметром 400 мм). При этом учтено, что расположение лампы "привязано" к определенной топографии электромагнитного поля в СВЧ-резонаторе. Третий рефlector, опять-таки совместимый с лампой, формирует световой поток, типичный для автономного светильника или прожектора заливающего света.

Проблемы, относящиеся к оптической системе (рефлектору), лишь отчасти могут решаться автономно — в отрыве от проблем СВЧ-лампового модуля (как, впрочем, и обратная задача). Это связано, во-первых, с тем, что местоположение квазиточечного светящего тела "принадлежит" СВЧ-резонатору, а его собственные размеры не могут задаваться произвольно, ибо на рабочей частоте накачки определяют резонансные свойства и топографию СВЧ- поля; во-вторых, рефлектор является элементом, влияющим на распределение радиационных и конвекционных теплопотоков. Для горелки, не обдуваемой принудительно, указанное влияние может быть значительным (хотя лампа и вращается) и к тому же различным в зависимости от взаиморасположения силовых линий СВЧ-электрического поля, оси вращения лампы, гравитационных сил и выходного отверстия рефлектора.

В варианте СВЧ-светового прибора Lightdrive 1000<sup>TM</sup>, не предусматривающем его использования в сочетании со световодами, применен пирамидальный рефлектор, ось которого совпадает с осью вращения лампы (с осью СВЧ-резонатора), при этом рефлектор направляет световой поток вниз (на освещаемую площадь).

В-третьих, что особенно важно для варианта, совместимого

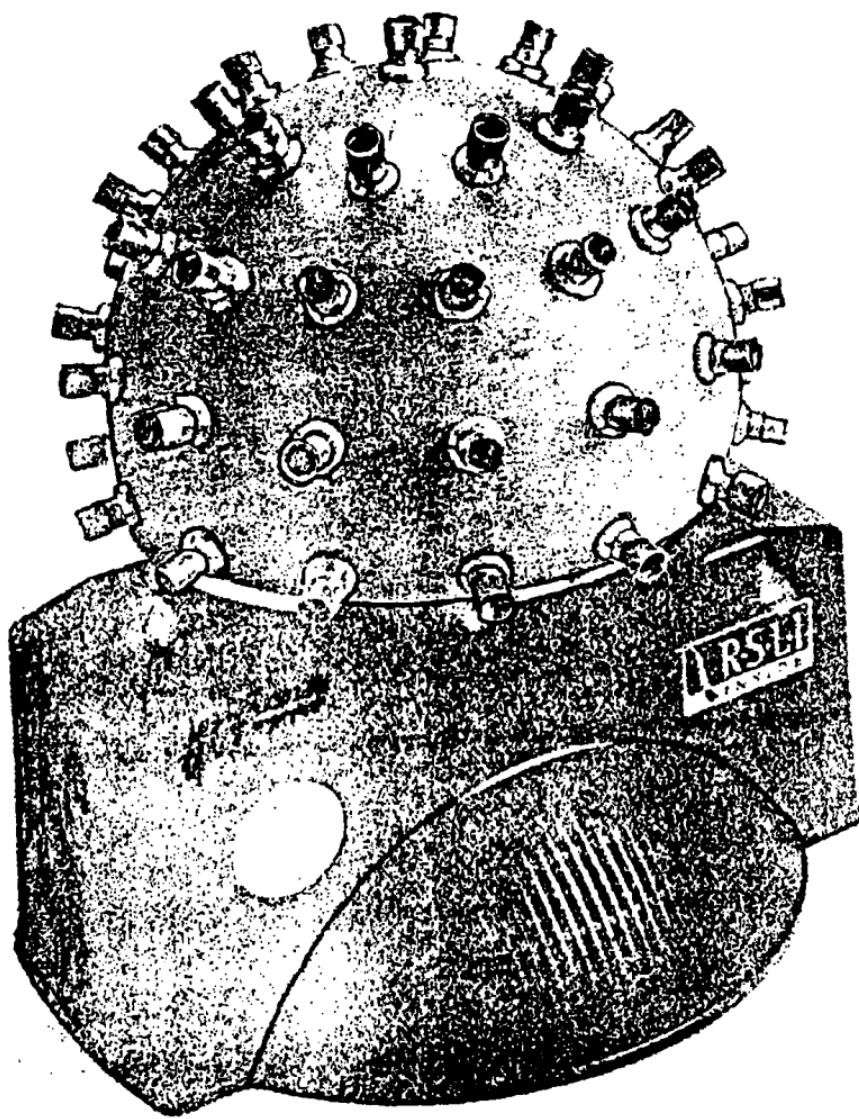


Рис. 6. Внешний вид СВЧ-светового прибора, совместимого с многопозиционной светораспределительной системой на волоконных световодах

со световодной линией, оптимизация кривой силы света требует обеспечения корректного (с полезными углами) отражения лучей, направленных от горелки в СВЧ-резонаторе в сторону, противоположную выходному отверстию рефлектора. Эта совместная задача СВЧ-техники, светотехники (оптики) и теплотехники в СВЧ-световых приборах, в том числе Solar 1000<sup>TM</sup> и Lightdrive 1000<sup>TM</sup>, решена постановкой в СВЧ-резонаторе между СВЧ-воздушителем и горелкой дихроичного корректирующего рефлектора (рис. 4, 5). Он выполнен в виде кварцевого зеркала, содержащего только неметаллические (непроводящие) покрытия, чем достигнута его СВЧ-прозрачность при практически идеальной отражательной способности "по свету".

Кроме указанных модификаций на базе лампы Solar 1000<sup>TM</sup> уже в начале 1998 г. появилась реклама СВЧ-светового прибора, показанного на рис. 6.

Моноблоочное построение предусматривает размещение серной лампы в сферическом замкнутом корпусе, непрозрачном для оптического и СВЧ-излучений. Моноблок снабжен 52 разъемами для присоединения волоконных световодов. Особенности этого светового прибора не ограничиваются конструктивной совместимостью с нетрадиционной для источника ОИ на серной лампе системой канализации света. Полезно выделить еще и следующее.

Во-первых, корпус сферы, не имеющий сколько-нибудь значительных светоизлучающих отверстий, является "радиогерметичным" экраном, что позволяет увеличить ячейки сетки, образующей СВЧ-резонатор (то есть увеличить ее светопрозрачность) без увеличения СВЧ-излучений в окружающую среду. В "предельном" случае не исключена возможность вообще отказаться от сетчатого одновидового СВЧ-резонатора и использовать в качестве многовидового СВЧ-резонатора собственно сферический объем, если удастся обеспечить достаточно высокую напряженность электрического СВЧ- поля в зоне размещения безэлектродной лампы.

Во-вторых, большая поверхность сферы позволяет достаточно уверенно "снимать" тепло при естественном конвекционном охлаждении.

Несмотря на несколько экзотическое построение этого при-

бора, можно полагать, что области его возможного применения — это не только создание декоративных (в том числе "блуждающих") эффектов, где поле для фантазии дизайнера весьма обширно, но и создание антивандальных, всепогодных пространственно разнесенных и групповых, например, мозаичных источников света и т. п.

При этом не приходится ожидать, что подобные СВЧ-световые приборы вытеснят светильники, построенные в автономном (проекторном) исполнении или в сочетании с полыми световодами, аналогичные NASM, Solar 1000<sup>TM</sup>, Lightdrive 1000<sup>TM</sup>.

Суммируя известные данные, которые сегодня можно почерпнуть из материалов фирм, представленных на международных выставках светотехнических достижений, в сети INTERNET, в работах зарубежных авторов [3 — 7], в отечественных публикациях [1, 8 — 10] и с учетом табл. 1, можно выделить следующие основные достоинства СВЧ-световых приборов с безэлектродными серыми лампами:

1. Повышенная световая отдача (до 100 лм/Вт), определяющая возможность энергосбережения.
2. Сплошной квазисолнечный спектр ОИ с резко пониженным уровнем УФ излучений и излучений в ИК диапазоне и с максимумом спектральной плотности мощности, совпадающим с максимумом кривой видности человеческого глаза. Естественная цветопередача.
3. Малогабаритность и равнояркость светящего тела, облегчающая оптимизацию оптических систем.
4. Высокая долговечность лампы — несколько десятков тысяч часов.
5. Экологическая чистота собственно излучения и материалов горелки.
6. Возможность регулировки силы света.

При этом важно иметь в виду, что указанные достоинства реализуемы в полной совокупности, а не жертвуя одним ради другого.

Основные недостатки:

1. Высокая температура колбы горелки, обуславливающая необходимость использования высококачественного и, соответственно, дорогого, кварцевого стекла с одной стороны, и не-

обходимость обеспечения обеспыленной и неагрессивной воздушной среды, соприкасающейся с горелкой.

2. Относительно высокая стоимость СВЧ-светового модуля — 1950 — 4000 \$ (по крайней мере, в условиях современного монополизированного и пока не массового производства). Высокая стоимость полых призматических световодов (250 — 300 \$ за погонный метр) вряд ли компрометирует сам СВЧ-световой прибор, так как эта дороговизна будет присутствовать и при ином источнике света (например, на базе металлогалогенной лампы), если построение осветительной системы ориентировано на использование полых световодов.

О возможных областях применения источников оптического излучения на серных (и подобных) безэлектродных лампах с СВЧ-накачкой в современной рекламной, журнальной и патентной литературе сказано много. Если из всей быстро накапливающейся информации исключить чисто предположительную, в которой даже кажущиеся на первый взгляд полуфантастическими применения (охватывающие различные сферы человеческих интересов и деятельности — от подземной и подводной до космической) в недалеком будущем могут оказаться вполне реальными, то информация об уже осуществленных применениях дает основания для следующих суждений, оценок и прогнозов.

Прежде всего надо отметить, что сегодня уже имеется ряд примеров реализации как автономных СВЧ-световых приборов, так и осветительных систем на их основе. Причем в этих примерах просматриваются по меньшей мере 5 целей, каждая из которых в конкретном случае может считаться приоритетной.

Исторически первая цель — достижение впечатляющего зрительного эффекта, при котором энергосбережение, качество цветопередачи, долговечность и безвредность — это выигрышные сопутствующие достоинства.

Вторая цель — достижение высокой экономичности осветительной системы в целом (включая энергосбережение, доступность и низкую стоимость монтажа и обслуживания, отсутствие проблемы утилизации). При этом качество спектра излучения, возможности получения мощных четко сформированных световых потоков и другие достоинства — это, опять-таки,

сопутствующие факторы, даже не полная реализация которых не препятствует решению данной целевой задачи.

Третья цель — достижение именно квазисолнечной световой среды (обстановки) для обеспечения комфортных условий, а то и лечебно-профилактического воздействия на человека и другие объекты живой природы. Долговечность, стабильность спектра, экономичность и нетребовательность в обслуживании — это сопутствующие достоинства.

Четвертая цель — предотвращение деструктивного, опасного или иных вредных воздействий УФ и ИК излучений на освещаемые объекты и окружающую их среду, особенно при высокой требуемой освещенности.

Пятая цель — обеспечение оптимальных условий формирования светового потока, излучаемого квазиточечным светящим телом и направляемого непосредственно на освещаемый объект или с использованием светораспределительных устройств и систем (будь-то система симметричных или асимметричных отражателей или оптическая система полых световодов).

Уже сама возможность достижения многих целей при сохранении прочих достоинств определяет перспективность СВЧ-световых приборов и обуславливает развитие новой “идеологии” в проектировании не только собственно осветительных устройств и систем, но и в архитектурном построении зданий, сооружений, их интерьеров, функциональных помещений, энергетических коммуникаций и т. п. с соответствующими особенностями, диктуемыми климатическими, географическими (широтными) условиями.

Можно прогнозировать и некоторое реформирование “идеологии” построения установок наружного освещения (улиц, площадей, тоннелей и других объектов городского хозяйства, архитектурных памятников и т. п.).

В числе уже немалого количества примеров, иллюстрирующих продвижение в сферу практического использования новых световых приборов, кроме упоминавшихся первых систем у здания Forrestol Building и в NASM в Вашингтоне, можно выделить эксплуатирующуюся в безоконном зале сортировки почты в Сундсвале (Швеция) систему освещения, построенную на базе прибора Solar 1000™ и полых призматических световодов. Система представляет 24 линии горизонтальной подвески, заме-

няющие 360 люминесцентных ламп. При этом главная целевая задача — отнюдь не создание декоративного эффекта, а использование квазисолнечного спектра, что создает комфортные и безопасные условия труда для персонала. Немаловажным фактором в указанном применении серной лампы является и энергосбережение.

Другим примером использования серных ламп является система освещения торгового центра Columbus в городе Вуосаари (Финляндия) [7]. Этот центр открыт 1 октября 1996 года — через 2 года после демонстрации системы NASM. Особенностью новой системы является использование 18 СВЧ-ламповых модулей (с встроенным источником питания и управления) Light-drive 1000<sup>TM</sup> без световодов, но с асимметричными отражателями, что создает эффектное и эффективное светораспределение. Высокий уровень освещенности обеспечивает выигрышное представление товаров, квазисолнечный спектр обеспечивает неискаженную цветопередачу, а низкий уровень УФ излучения гарантирует неповреждаемость красок и других чувствительных к УФ-облучению ингредиентов, входящих в состав выставленных к продаже объектов.

Можно упомянуть и введенные в действие системы освещения с использованием полых световодов крупных холодильных помещений, где важным фактором является низкое содержание ИК излучений в спектре серной лампы, и сооруженные на мачтах легкие и долговечные светильники на самолетных стоянках в аэропорту.

Можно прогнозировать дальнейшее развитие и быстрое и разнообразное распространение новых источников света.

В России и СНГ производства СВЧ-световых приборов пока не существует. Проведен ряд автономных и совместных работ по созданию таких источников силами специалистов ИЗМИРАН, НИИЯФ, ВНИСИ, ВЭИ, МЭИ, ЗАО "ЛИТ", ОАО "Плутон".

Первый отечественный выход на международный форум — это представление опытного образца СВЧ-светового прибора (изготовленного ОАО "Плутон") на выставке "Интерсвет — 98" в Москве (14 — 17 декабря 1998 г.).

## Литература

1. Г.Н. Рохлин О характеристиках новых безэлектродных микроволновых серных ламп// Светотехника, 1997, № 4, с. 19 — 23.
2. В.О. Горнов Безэлектродные люминесцентные лампы. Новости светотехники /Обзор зарубежной литературы// Под ред. Ю.Б.Айзенберга. М.: Дом света, 1998. вып. 3, 16 с.
3. Dolan I.T., Ury M.G., Wood C.H. A Novel High Efficacy Microwave Powered Light Source. Presented as a Land-mark Paper on September 2, 1992 Sixth International Symposium on the Science and Technology of Light Sources Technical University of Budapest.
4. B.P. Turner, M.G. Ury, Y. Leng, W.G. Love. Sulfur Lamps — Progress in their Development. Journal of the Illuminating Engineering Society. Winter 1997, pp. 11 — 16.
5. F.A. Florentine, L. Anderson, D. Maklennan, L.A. Whitehead Lighting High Bay Areas with Electrodes Lamps. Journal of the Illuminating Engineering Society. Winter 1997, pp. 27 — 34.
6. Ивамура Ацуси, Хамада Такэси, Кимура Саказ, Кабай Тору. Выложенная заявка Японии 9-82113, дата подачи 11.09.1995 г. "Источник питания для зажигания лампы". Заявители Sony (Яп.), Fusion Lighting (США).
7. Л. Билунд. Новая осветительная техника с микроволновыми серными плазменными лампами // Светотехника, 1998, № 3, с. 13 — 17.
8. Э.Д. Шлифер. Некоторые особенности и проблемы создания осветительных и облучательных устройств на базе безэлектродных газоразрядных ламп с СВЧ-накачкой // Светотехника, 1999, № 1.
9. Ю.Б. Айзенберг. Некоторые достижения современной светотехнической науки// Светотехника, 1995, № 4 — 5, с. 35 — 36.
10. А.Н. Козлов и др. Кинетика высокочастотного и микроволнового возбуждения разряда в парах серы// ЖЭТФ. 1999, (в печати).

# **Светодиоды и их применение**

**Л.П. Варфоломеев**

Светодиоды (СД)\* — полупроводниковые приборы, генерирующие оптическое излучение при прохождении через них электрического тока.

Светодиоды нельзя считать принципиально новыми источниками света, так как видимое излучение полупроводниковых структур (карбида кремния) было обнаружено О.В. Лосевым еще в двадцатые годы. Однако только в шестидесятые годы началось массовое производство СД, излучающих в красной и инфракрасной (ИК) областях спектра. Промышленные СД зеленого и желтого цветов появились в семидесятые годы, а голубого и синего цветов только в девяностые годы, хотя обнаруженное в двадцатые годы свечение полупроводникового перехода было как раз голубым. Все эти СД были созданы на основе арсенидов и фосфидов галлия, алюминия, индия и их смесей. В последние годы появились сообщения о создании СД на основе полимерных полупроводниковых материалов [1], однако промышленного выпуска таких СД пока нет.

Принципиальный скачок в улучшении параметров СД произошел в 1992 — 95 гг., когда японской фирме Nichia Chemical Industries (NCI) удалось организовать производство нового поколения СД на основе многопроходных гетероструктур нитрида галлия и его твердых растворов. Эта фирма, а также Hewlett Packard (США), Sanken Electric Co. (Япония) и ряд других начали промышленный выпуск высокоэффективных СД повышенной яркости. Световая отдача СД была увеличена в 100 раз.

К настоящему времени разработаны и выпускаются в про-

\*ГОСТ 15133-77 регламентирует термин "Светоизлучающие диоды", однако в последние годы этот термин в отечественной литературе практически не встречается и вытеснен термином "светодиоды".

мышленных масштабах высокоеффективные СД, излучающие во всем видимом диапазоне спектра и в ближней ИК области. О масштабах современного производства СД можно судить по следующим цифрам: только фирма Hewlett Packard (HP) ежегодно производит СД на сумму более миллиарда долларов; объем выпуска СД в СССР в конце восьмидесятых годов превышал 100 млн. штук в год.

Подлинный бум в применении СД, начавшийся несколько лет назад, вызван следующими обстоятельствами:

1. Надежность СД несопоставимо выше, чем у остальных источников света. Многие СД имеют срок службы 100 000 ч, а в информационном выпуске фирмы HP от 1996 года сообщается, что и 1 000 000 ч — уже не проблема.

2. Световая отдача некоторых СД уже сейчас превышает световую отдачу ламп накаливания и достигает 30 лм/Вт, причем имеется перспектива ее повышения в ближайшие годы в 2 — 3 раза.

3. В отличие от газоразрядных источников света, СД не требуют какой-либо пускорегулирующей аппаратуры. Они допускают последовательное и параллельное соединение без выравнивающих сопротивлений, что предельно упрощает возможность их использования.

4. Конструкция современных СД позволяет концентрировать излучаемый ими световой поток в малых телесных углах. Это делает возможным создание световых приборов без применения какой-либо внешней оптической системы, причем коэффициент использования светового потока при этом близок к 100 %.

5. Излучение СД близко к монохроматическому, причем имеются высокоеффективные СД с излучением в областях красного, желтого и зеленого цветов, применяемых в визуальной сигнализации. Это открывает неограниченные возможности в использовании СД в светосигнальном оборудовании.

6. Высокая устойчивость СД к механическим воздействиям и их работоспособность в широком интервале температур (от -55 до + 100 °C) позволяют использовать их на любых средствах транспорта — от велосипеда до космических кораблей.

Обстоятельное изложение физики работы СД, истории их развития и состояния производства дано в монографиях А. Берга, П. Дина [2] и Л.М. Когана [3], новейшие данные в этой области — в статьях А.Э. Юновича [4] и Л.М. Когана [5].

Типовая конструкция наиболее массовых СД показана на рис. 1. Корпус 1 изготавливается из прозрачного материала (например эпоксидной смолы) с достаточно высоким коэффициентом преломления (как правило, 1,58). Корпус имеет сферическую или эллипсоидную поверхность, выполняющую роль линзы и формирующую излучение СД в заданном телесном угле. Сферические поверхности позволяют сконцентрировать излучение в угле от  $15^\circ$  до  $120^\circ$ , эллипсоидные — от  $3^\circ$  до  $15^\circ$ . Излучение генерируется кристаллом 2, который закреплен на кристаллодержателе 3. Кристаллодержатель является одновременно и одним из электродов СД. Внутренние бортики кристаллодержателя имеют наклон около  $45^\circ$  и высоту до 0,5 мм и служат внутренним отражателем, направляя боковое излучение кристалла вдоль оптической оси СД. Выводы 4 служат не только для подачи напряжения, но и для фиксации СД на монтажных платах. При повышенных механических нагрузках СД крепятся дополнительно за корпус. Типовые диаметры корпуса — 3, 5, 8 и 10 мм.

Кроме конструкции, показанной на рис. 1, СД выпускаются во множество других вариантов: для плоскостного монтажа, в виде матриц, в металлических корпусах, в виде плоских световодных пластин для подсветки жидкокристаллических индикаторов и т. д.

Основные параметры, которыми характеризуются СД:  
входные

- прямой ток ( $I_{\text{пр}}$ );
- прямое падение напряжения ( $U_{\text{пр}}$ );
- допустимое обратное напряжение ( $U_{\text{обр. max}}$ );

выходные

- излучаемый поток ( $\Phi$ );
- осевая сила света ( $I_{\text{max}}$ );
- угол излучения ( $2\theta_{0,5}$ )
- цветность излучения (длина волны,  $\lambda_{\text{max}}$ );
- инерционность ( $\tau$ );
- яркость ( $L$ ).

В каталогах СД излучаемый поток указывается довольно редко; яркость указывается для матриц и пластин.

Для большинства СД  $U_{\text{обр. max}} = 10$  В.

На рис. 2 показана типичная вольт-амперная характеристика

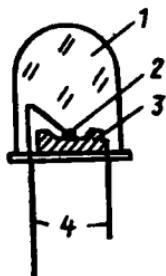


Рис. 1. Типовая конструкция светодиода:  
1 — корпус-линза; 2 —  
кристалл; 3 — кристалло-  
держатель

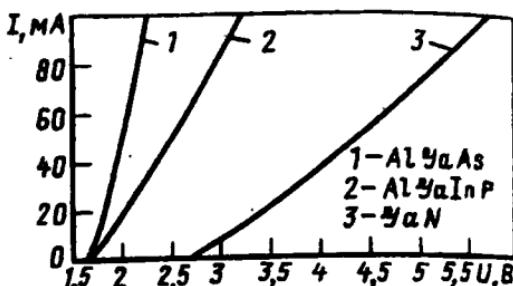


Рис. 2. Вольт-амперные характеристики светодиодов

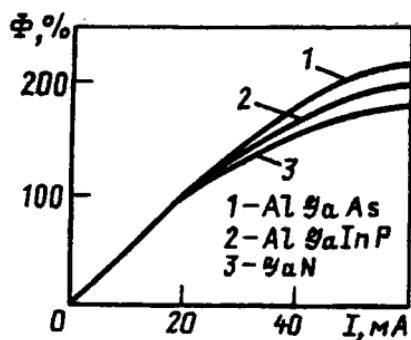


Рис. 3. Зависимость потока, излучаемого светодиодами, от тока

СД, на рис. 3 — зависимость излучаемого потока от тока через СД.

Все современные СД допускают работу в импульсном или проблесковом режиме с превышением импульсного тока над средним в 5 — 10 раз. Скважность импульсов при этом должна быть такой, чтобы средняя мощность, рассеиваемая на СД, не превышала предельно допустимую для конкретного типа СД. Од-

нако из-за нелинейной зависимости потока излучения от тока импульсный режим с превышением тока более, чем в 3 раза, малоэффективен.

В табл. 1 приведены параметры некоторых типов современных СД, выпускаемых фирмами Hewlett Packard (США), Nichia Chemical Industries, Япония (NCI) и заводом "Старт" (Россия).

В табл. 2 даны достигнутые к настоящему времени предельные параметры СД.

Прямое падение напряжения при токе 20 мА — не более 2,4 В для красных, 2,5 В для желтых, 2,8 В для зеленых

Таблица 1

Параметры некоторых типов светодиодов с диаметром корпуса 5 мм

Тип светодиодов	Производ- итель	Цветность	$\lambda_{\max}$ , нм	$2\theta_{0,5}$	$I_{\max}$ , мкд
HLMP-8103	HP	Красный	644	7	3000
HLMP-8102	—”—	—”—	—”—	7	2000
HLMP-8100	—”—	—”—	—”—	19	1000
HLMP-C100	—”—	—”—	—”—	30	750
HLMP-C110	—”—	—”—	—”—	40	400
HLMP-4101	—”—	—”—	637	8	1000
HLMP-4100	—”—	—”—	—”—	8	750
HLMP-8109	—”—	—”—	—”—	25	500
У-118А	Старт	—”—	660	20	1000
HLMP-DJ08	HP	Красно-оранжевый	626	8	6500
HLMP-8209	HP	—”—	626	25	260
HLMP-8205	—”—	—”—	—”—	15	350
HLMA-CH00	—”—	—”—	615	7	3000
HLMA-DH00	—”—	—”—	—”—	30	600
HLMP-DH08	—”—	—”—	—”—	8	8000
HLMP-8409	—”—	Оранжевый	602	25	260
HLMP-8405	—”—	—”—	—”—	15	350
HLMP-DJ08	—”—	—”—	—”—	8	9000
HLMA-CL00	—”—	Желтый	592	7	3000
HLMA-DL00	—”—	—”—	—”—	30	1000
HLMP-8309	—”—	—”—	585	25	260
HLMP-8305	—”—	—”—	—”—	15	350
HLMP-DL08	—”—	—”—	590	8	9300
У118-Д	Старт	—”—	594	20	1000
HLMA-CP00	HP	Желто-зеленый	573	8	1000
HLMP-8505	—”—	—”—	570	15	350
HLMP-8509	—”—	—”—	—”—	25	260
HLMP-8605	—”—	Зеленый	560	15	75
HLMP-D640	—”—	—”—	—”—	24	21
У118-В	Старт	Зеленый	565	20	350
NSPJ-500	NCI	—”—	525	15	6000
NSPJ-500	—”—	—”—	—”—	30	2200
NSPJ-520S	—”—	—”—	—”—	45	1200
NSPE-500	—”—	Голубой	505	15	5000
NSPE-510S	—”—	—”—	—”—	30	2200
HLMP-DB15	HP	Синий	480	15	12
NSPB-500	NCI	—”—	470	15	2000
NSPB-510	—”—	—”—	—”—	30	650
NSPB-520S	—”—	—”—	—”—	45	350

Таблица 2

## Пределевые параметры современных светодиодов

Цвет свечения	$\lambda_{\max}$ , нм	Сила света, кд при $I_{\text{пр}} = 20$ мА	Световая отдача, лм/Вт	Сила света на единицу мощности, кд/Вт
Красный	660	35	10	900
Красно-оранжевый	626	20	20	500
Желтый	594	20	20	500
Желто-зеленый	565	2,5	3	60
Зеленый	525	12	30	200
Синий	450	2,5	2	35

и 3,6 В для синих СД.

Инерционность СД характеризуется временем нарастания и спада светового импульса от 0,1 до  $0,9 I_{\max}$  и обратно при подаче или при снятии напряжения. Это время изменяется от 13 нс для СД из фосфидов алюминия, индия и галлия до 45 нс для СД из арсенидов этих же металлов.

Излучение СД нельзя считать строго монохроматичным, так как ширина полосы излучения по уровню 0,5 составляет 20 – 30 нм. Спектральное распределение излучения СД показано на рис. 4. Кроме СД, излучающих в видимой области спектра, широко распространены СД с излучением в ближней ИК области ( $\lambda_{\max}$  от 800 до 1300 нм). Такие СД характеризуются силой излучения от 50 до 250 мВт/страд, излучаемой мощностью от 20 до 300 мВт, углом излучения от  $8^\circ$  до  $180^\circ$  и инерционностью в десятки нс.

В последнее время появились СД белого излучения, которое получают либо путем совмещения кристаллов с излучением трех основных цветов (красного, зеленого и синего) в одном корпусе, либо путем преобразования синего излучения нитрида галлия в белое с помощью люминофоров [5]. Белые СД NSPW 310 AS фирмы NCI диаметром 3 мм при угле излучения  $60^\circ$  имеют силу света 400 мкд (при токе 20 мА).

Таким образом, к настоящему времени разработаны СД, излучение которых охватывает практически весь видимый диапазон 200

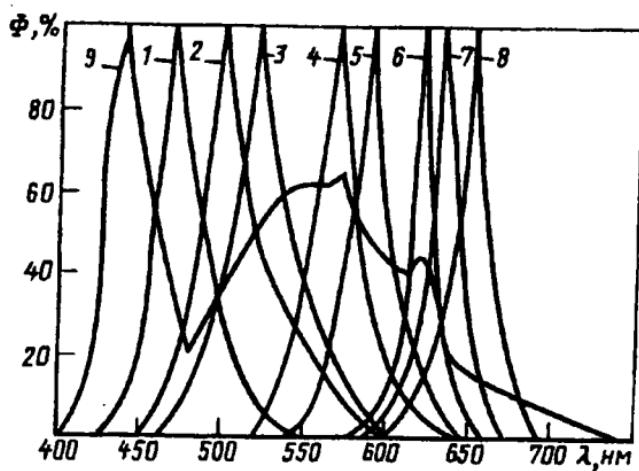


Рис. 4. Спектральное распределение энергии излучения светодиодов:  
 1 — синий, Ga N; 2 — голубой, Ga N; 3 — зеленый, Ga N; 4 — желто-зеленый, Ga P;  
 5 — желтый, Al In Ga P; 6 — оранжевый, Al In Ga P; 7 — красно-оранжевый,  
 Al In Ga P; 8 — красный, Al In Ga As; 9 — белый, Ga N с люминофором

спектра. Это позволило уже сегодня создать ряд приборов с использованием СД, превосходящих по своим параметрам во много раз аналогичные приборы с лампами накаливания.

До конца 80-х годов основной областью применения СД были световая индикация и средства отображения информации.

Первой областью массового применения новых СД стала дорожная сигнализация. Практически одновременно в США, Японии и ряде европейских стран появились уличные светофоры на СД, по своим светотехническим параметрам (сила света, цветность излучения и угол излучения) полностью соответствующие требованиям международных и национальных стандартов. По экономичности светофоры с СД превосходят обычные светофоры с лампами накаливания в несколько раз, а по сроку службы — в сотни раз [6, 7]. В августе 1995 г. светофоры с СД появились на улицах Москвы, а к настоящему времени такими светофорами оборудованы уже практически все улицы и площади в пределах Садового кольца. Для автодорожных светофоров характерны следующие параметры: угол излучения  $30^\circ$  (по уровню 0,5), осевая сила света не менее 80 кд, срок

эксплуатации (без обслуживания) — 15 лет и более. Несмотря на то, что стоимость светофоров с СД в настоящее время в 2 — 4 раза выше, чем с лампами накаливания, они полностью окупаются за один — три года.

Кроме автодорожных, появились и железнодорожные светофоры с СД. Они создают более узкий световой пучок (около 4°), осевая сила света от 2300 кд (для красного света) до 4300 кд (для желтого цвета). Созданы и стрелочные светофоры синего цвета с углом излучения около 9° (по уровню 0,1) и осевой силой света до 120 кд. Мощность, потребляемая железнодорожными светофорами — от 0,6 Вт для стрелочных синего цвета до 5 Вт для желтого цвета.

Особенно перспективно использование СД в плавучих маяках, бакенах и створных огнях с автономными источниками питания на речном транспорте, так как меньшее энергопотребление источников света позволяет значительно реже менять источники тока, и срок окупаемости может сократиться до одного года [8].

Малая инерционность СД дает им преимущество перед лампами накаливания при применении в огнях торможения автомобилей. Перспективно их использование также в габаритных огнях, указателях поворота, заднего хода и т. п.

Параметры современных СД делают их конкурентоспособными во многих светосигнальных устройствах аэродромов (огни кругового обзора, световые указатели, огни приближения и подхода).

Однако кроме светосигнальной аппаратуры различного назначения, СД уже сегодня рассматриваются и как источники света в традиционном понимании, т. е. как средства освещения или облучения тех или иных объектов.

Характерен в этом отношении большой интерес, проявляемый к СД в NASA (Национальном управлении по аeronавтике и исследованию космического пространства США). Так, еще в 1991 г. по заданию NASA американскими учеными были проанализированы возможности использования СД для облучения растений в условиях космических полетов [10]. Использовались СД на арсениде галлия и алюминия с  $\lambda_{\max} = 660$  нм (корпус диаметром 5 мм, угол излучения 8°). Площадь  $19 \times 35$  см<sup>2</sup> облучали 540 СД. Мощность, потребляемая СД, составляла около 50 Вт. Из-за отсутствия в то время СД с излучением в коротковолновой (синей) области спектра, до-

полнительно к красному излучению СД растения облучались голубой люминесцентной лампой F20 T12/246, излучающей в диапазоне 400 — 500 нм. Суммарная облученность на уровне почвы составляла около 60 Вт ФАР/м<sup>2</sup>\* , при этом доля облученности от люминесцентной лампы — около 6 Вт ФАР/м<sup>2</sup>, т.е. примерно 10 % от общей облученности. В этих условиях в течение 21 дня (с циклом 16 ч свет — 8 ч темнота) выращивались растения салата. Результаты эксперимента показали, что выращенные под СД растения ни по одному из контролируемых параметров ( масса свежесрезанных растений, масса сухого вещества в них, количество и размер листьев) не уступали растениям, выращенным в контрольной установке, где источником излучения были люминесцентные лампы холодно-белой цветности и лампы накаливания (уровень облученности был одинаков).

Проблема использования СД для облучения растений на космических станциях с целью обеспечения экипажа пищей подробно рассмотрена в [11]. Показано, что СД могут обеспечить требуемые для нормального роста и развития растений уровни облученности, однако энергообеспеченность современных космических объектов не позволяет строить на них оранжереи достаточно большой площади.

Глубокий интерес NASA к проблеме использования СД не случаен. Несмотря на невысокие (по сравнению с другими источниками света) светотехнические параметры, СД обладают рядом свойств, делающих их особенно перспективными при использовании именно на космических объектах. Кроме их высокой надежности, это — полное отсутствие в СД стекла и ртути — практически обязательных компонентов всех современных источников света, требующих значительных усложнений конструкции светильников для полного исключения возможности попадания осколков стекла и паров ртути в общий объем станций при случайных разрушениях ламп.

Руководствуясь именно этими соображениями, в проекте международной станции “Альфа” как альтернативный вариант рассматривается возможность использования светильников на СД

\* ФАР — фотосинтетически активная радиация, т. е. все излучение в диапазоне 400 — 700 нм.

для освещения одного из модулей станции [13]. Сравниваются светильники с галогенными лампами накаливания (28 В, 150 Вт), компактными люминесцентными лампами (39 Вт), металлогалогенными лампами (125 Вт) и СД. Результаты сравнения обобщены в табл. 3.

Светильник выполнен в виде плоского основания из поликарбоната размером 370×190 мм. Параллельно коротким сто-

Таблица 3

**Параметры светильников космической станции "Альфа" с различными источниками света**

Параметр	Источник света			
	МГЛ	ЛЛ	ГЛН	СД
Средняя освещенность на расстоянии 3 м, лк (пределы регулирования)	45 ...650	0 ...600	0 ...450	0 ...160
Диаметр светового пятна, м	3	—	3	3
Потребляемая мощность, Вт	150	150	150	110
Масса светильников, кг (включая ПРА)	4	6,7	2,5	1,1
Габаритные размеры, мм светильника ПРА	Ø 80×200 128×64×240	460×125×230 37×60×240	120×75×80 134×210×75 (трансформатор и стабилизатор напряжения)	370×190×35
Срок службы, ч	200	12 000	250	100 000
Наличие вредных веществ:				
стекло	да	да	да	нет
ртуть	да	да	нет	нет

ронам основания расположены 4 ребра жесткости, служащие также опорой для пяти панелей с СД. На каждой панели смонтировано по 160 СД (по две группы из 80 СД), излучающих белый свет с цветовой температурой около 5500 К. Предусмотрены два варианта соединений СД, позволяющих включать светильник непосредственно в бортовую сеть как американских (115 В переменного тока), так и российских (28 В постоянного тока) космических модулей. Выходное отверстие светильника перекрыто листовым прозрачным поликарбонатом.

Как видно из табл. 3, уровень освещенности от светильника с СД пока еще заметно ниже, чем от светильников с традиционными источниками света. Однако высокая надежность, "безвредность" и простота этого светильника уже сегодня позволяют говорить о реальности и перспективности использования СД не только в светосигнальных устройствах, средствах отображения информации и световой рекламе, но и в обычных осветительных приборах, особенно для местного освещения.

Светодиоды, излучающие в ИК диапазоне, наиболее широко используются в пультах дистанционного управления телевизоров и другой радиоаппаратуры. Малая инерционность СД позволяет модулировать их излучение с частотой до десятков мегагерц и тем самым передавать широкую гамму командных сигналов.

Это же свойство СД в сочетании с малыми габаритами излучающего тела, позволяющими сконцентрировать излучение в узких пучках (до десятков угловых минут), определило еще одну обширную область применения СД — оптическую связь с открытым оптическим каналом. Использование открытого оптического канала вместо волоконной оптики делает системы оптической связи на СД исключительно надежными, скрытыми, помехозащищенными и мобильными.

Очень широкой областью применения СД является световая реклама, особенно динамичная, вместе с компьютерным управлением.

Появление высокоэффективных СД с излучением в сине-зеленой области спектра открыло еще одну перспективную область их использования: создание светодиодных телевизионных экранов с высоким качеством цветопередачи. Работы в этом направлении активно ведутся, в частности, в Японии.

Следует ожидать, что уже в ближайшие годы параметры

СД повысятся в 2 — 3 раза, а стоимость их заметно понизится. Это может привести к тому, что СД станут конкурентоспособными источниками света не только в таких, пока еще экзотических областях, как космонавтика, но и в повседневной жизни.

Ведущими фирмами по разработке и производству светоэодов являются Nichia Chemical Industries (Япония), Hewlett Packard (США), Sanken Electric Co. (Япония) Panasonic (Япония).

В России основным разработчиком и изготовителем светоэодов является завод "Старт", г. Москва.

Ведущее предприятие России по применению светоэодов — Научно-производственная внедренческая фирма "Свеча", г. Москва.

Крупнейшие российские дилеры иностранных фирм-производителей светоэодов: "Зенон", "Оптоника", г. Москва.

## Литература:

1. Shang C., Hoger S., Pakbaz K., Wudl F. Improved efficiency in green polymer IED with airstable electrodes// J. Electron Mater, 1994, 23, № 5, с. 453 — 458.
2. Берг А., Дин П. Светоэоды. Пер. с английского под редакцией А.Э. Юновича, М.; Мир, 1979 г.
3. Коган Л.М. Полупроводниковые светоизлучающие диоды. М.: Энергоатомиздат, 1983 г.
4. Юнович А.Э. Светоэоды на основе гетероструктур из нитрида галлия и его твердых растворов// Светотехника, 1996, № 5/6, с. 2 — 7.
5. Коган Л.М. Новые светоэоды и устройства на их основе// Светотехника. 1997, № 3, с. 27 — 30.
6. White Light Burning Bright at Familiar Site// Compound Semiconductor. Nov. — Dec., 1996, vol.2, num. 6, p. 14.
7. Тринчук Б.Ф. Светосигнальная аппаратура на светоэодах// Светотехника, 1997, № 5, с. 6 — 11.
8. Evaluation Report 92557001, Diolux, Traffic Lights Reliability Assesment, 1993.
9. Коган Л.М., Шмерлинг И.Е. Полупроводниковые светоэодные излучатели для светосигнальных приборов навигационных знаков водных путей// Светотехника, 1998, № 2, с. 19 — 23.
10. Bula R.J., Morrow R.C., Tibbitts T.W., Barta D.J., Ignatius R.W. and Martin T.S. Light — emitting Diodes as a Radiation source for Plants // Hort Science, vol. 26 (2), 1991.
11. Barta D.J., Tibbitts T.W., Bula R.J. and Morrow R.C. Evaluation of Light Emitting Diode Characteristics for a Space — Based Plant Irradiation Source// Adv. Space Res., vol.12, № 5, pp. 141 — 149, 1992. 12. Sending New Signal. Hewlett Packard, 1996.
13. Duong Van Nguyen. Photoflood Light Evaluation, IMAX Project, Lockheed Martin, Engineering and Sciences, 1997.

# Электронные пускорегулирующие аппараты для люминесцентных ламп

Л.П. Варфоломеев

Преимущества питания люминесцентных ламп (ЛЛ) током высокой частоты давно и широко известны (1–4):

- повышение световой отдачи ЛЛ;
- увеличение их срока службы;
- исключение акустических шумов от светильников с ЛЛ;
- исключение пульсаций светового потока;
- снижение потерь мощности в ПРА;
- уменьшение массы и габаритов ПРА;
- повышение коэффициента мощности (эквивалента  $\cos \varphi$ ) комплекта ЛЛ-ПРА;
- возможность регулирования светового потока ЛЛ.

К настоящему времени электронные пускорегулирующие аппараты (ЭПРА), позволяющие реализовать все преимущества высокочастотного питания ЛЛ, выпускаются десятками фирм практически во всех индустриально развитых странах. В таблице показана динамика роста применения ЭПРА в США и Германии:

Страна	Изделение	Масштабы применения по годам		
		1985	1990	1995
США	ЭПРА, млн. шт	1,5	14	30
	ЭПРА в КЛЛ, %	13	33	50
Германия	ЭПРА, %		12	25

Общемировое производство ЭПРА в 1998 г. превысило 300 млн. штук (включая интегрированные с компактными ЛЛ); более 100 млн. штук ЭПРА было произведено в Китае, около 100 млн. штук — в Японии, 30 млн. штук — в США (из них 10 млн. штук — фирма "Motorola").

Уже сегодня производство и применение ЭПРА соизмеримо

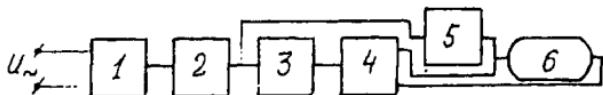


Рис. 1. Структурная схема ЭПРА:

1 — выпрямитель сетевого напряжения; 2 — корректор формы потребляемого тока; 3 — преобразователь (инвертор) постоянного напряжения в высокочастотное переменное; 4 — стабилизирующий элемент; 5 — поджигающее устройство; 6 — лампа

с производством электромагнитных ПРА и очевидно, что в будущем доля ЭПРА будет возрастать.

### 1. Принципы работы и устройства ЭПРА.

Задача ЭПРА — обеспечение зажигания и стабильной работы ЛЛ. Современная элементная база и схемотехника позволяют решать эту задачу множеством схемных решений. Однако структурная схема всех ЭПРА примерно одинакова и содержит следующие основные узлы ( см. рис. 1).

При питании от сети постоянного тока выпрямитель и корректор формы тока, естественно, не требуются.

**В выпрямителях**, как правило, используется мостовая схема с конденсатором на выходе. Эта схема предельно проста и надежна, однако не позволяет получить коэффициент мощности (в каталогах ЭПРА обычно обозначается  $\lambda$  и равен отношению активной мощности, потребляемой комплектом ЛЛ-ЭПРА, к произведению потребляемого тока на напряжение сети) выше 0,5\*. Кроме этого, форма тока, потребляемого инвертором, как правило, отлична от синусоидальной. Это вызывает необходимость введения в схему устройства, корректирующего форму потребляемого тока.

**Коррекция формы тока** может быть пассивной или активной. В первом случае выпрямитель работает не прямо на конденсатор, а на L-C фильтр. Введение индуктивности в нагрузку выпрямителя позволяет значительно снизить содержание высших

\* По определению  $\lambda$  совпадает с общезвестным понятием  $\cos \varphi$ , однако из-за наличия значительной доли высших гармоник в потребляемом токе использование  $\cos \varphi$  не вполне корректно.

гармоник в потребляемом токе и повысить  $\lambda$  до 0,9 — 0,95. Однако для этого требуется индуктивность, соизмеримая с индуктивностью дросселя в электромагнитных ПРА, что сводит к нулю преимущества ЭПРА по снижению массы и габаритов. Тем не менее, такой способ повышения  $\lambda$  в настоящее время применяется довольно широко.

Активная коррекция формы потребляемого тока может осуществляться за счет включения в нагрузку выпрямителя устройства, изменяющего свое сопротивление таким образом, чтобы суммарное сопротивление конденсатора и нагрузки было близко к активному.

В качестве такого устройства могут использоваться транзисторы или аналоговые микросхемы, управляемые сигналами с компараторов, сравнивающих форму питающего напряжения и потребляемого тока. Схемы активной коррекции формы тока достаточно сложны, требуют введения в ЭПРА дополнительных элементов и тем самым удороажают их. Однако такие схемы позволяют не только исправить форму тока, исключить высокочастотные помехи в питающей сети и повысить  $\lambda$  до 1, но и обеспечить ряд дополнительных важных функций: стабилизацию выходного напряжения выпрямителя, защиту от аварийных режимов, в ряде случаев — возможность регулирования светового потока и т. п. Поэтому активная коррекция формы тока применяется многими фирмами и очевидно, что будущее именно за такой формой.

Схемы **инверторов** в ЭПРА применяются самые разнообразные — от простейших автогенераторов на одном транзисторе до очень сложных устройств с задающими генераторами на микросхемах и усилителями мощности. Как правило, выходное напряжение инверторов имеет прямоугольную форму. Частота генерации обычно лежит в пределах 20 — 50 кГц. Известно, что рост световой отдачи и срока службы ЛЛ достигают насыщения при частотах около 10 кГц, снижение массогабаритных характеристик ПРА — начиная с 2 кГц, уменьшение пульсаций светового потока — также с 1 — 2 кГц. Однако частоты ниже 20 кГц в настоящее время практически не используются из-за возможных акустических помех (порог слышимости для человеческого уха принят равным 20 кГц). Частота генерации выше 50 кГц используется редко, т. к. заметного улучшения

параметров с ростом частоты уже не происходит, а динамические потери в силовых элементах ЭПРА растут.

Для запуска однотактных автогенераторов используются различные пороговые элементы (динисторы, однопереходные транзисторы и др.), включаемые в цепь базы силового транзистора.

Двухтактные автогенераторы чаще всего выполняются по полумостовой схеме или по широко известной схеме Ройера. Для запуска таких генераторов вводят либо некоторую асимметрию в базовые цепи, либо положительную обратную связь, либо используют внешний запуск с помощью порогового элемента, как и в однотактных инверторах.

По разному решаются задачи стабилизации работы инверторов. Наиболее распространенное решение — использование трансформаторов тока, первичная обмотка которых включается в цепь лампы, а вторичные — в базовые цепи транзисторов. Известны также схемы стабилизации с помощью двух встречно включенных стабилитронов, шунтирующих частотозадающий дроссель в схеме генератора Ройера.

В качестве **стабилизирующего элемента** (балласта) в ЭПРА чаще всего используются высокочастотные дроссели. Нередко используются схемы, в которых балласта в чистом виде нет, а для стабилизации режима лампы используется выходной трансформатор инвертора, намотанный в данных случаях на сердечниках с зазором ("трансформатор рассеяния").

Начиная с частоты около 1 кГц динамические характеристики ЛЛ имеют вид прямых линий, т. е. лампы начинают работать без перезажиганий в каждый полупериод и форма тока через них точно соответствует форме напряжения на лампе (сопротивление лампы приобретает чисто активный характер). Это позволяет, в принципе, использовать в качестве балласта простой конденсатор, как правило, гораздо более дешевый, чем дроссель. Однако на практике схемы с емкостными балластами не встречаются, т. к. напряжение инверторов имеет прямоугольную форму и ток через цепь конденсатор — лампа будет иметь большие пиковые значения, соответствующие передним фронтам импульсов напряжения инвертора. Допустимым считается коэффициент формы тока (отношение амплитудного значения тока к действующему) не более 1,7.

Одной из наиболее сложных задач при создании ЭПРА яв-

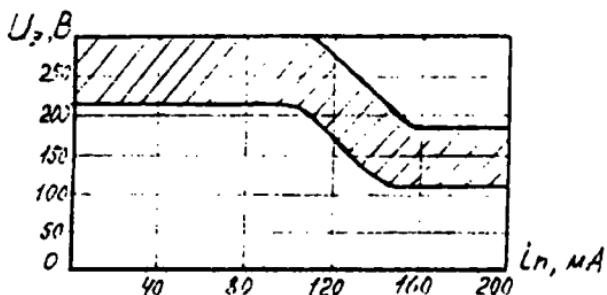


Рис. 2. Зависимость  $U_z$  от тока подогрева электродов (мА).

ляется зажигание ламп и согласование режимов зажигания и горения.

Как известно (1), напряжение зажигания ( $U_z$ ) ЛЛ, как и всех газоразрядных приборов, значительно (в несколько раз) превышает напряжение горения ( $U_g$ ). При этом  $U_z$  зависит от ряда причин — частоты питающего напряжения, наличия внешнего "стимулирующего" фактора (расположения ламп относительно изолированных или неизолированных металлических предметов, например, корпуса светильника; облучение лампы ионизирующим, в том числе ультрафиолетовым излучением; использование "поджигающих" полос или прозрачных токопроводящих покрытий и т. п.), но в наибольшей степени — от температуры электродов лампы. В качестве примера на рис. 2 показана зависимость  $U_z$  от тока подогрева электродов (т. е. от их температуры) для ЛЛ ЛБ8-6, имеющих сплошное прозрачное токопроводящее покрытие колбы, соединенное с одним из электродов, при питании лампы от генератора с частотой 20 кГц. Напряжение горения этой лампы при частоте 20 кГц —  $(40 \pm 2)$  В. Очевидно, что для обеспечения зажигания нужно прогревать электроды до температуры, при которой напряжение зажигания стабилизируется.

Прогрев электродов, кроме снижения  $U_z$ , согласно общепринятому представлению, приводит и к увеличению срока службы ЛЛ, так как включение ламп с холодными электродами вызывает ускоренное распыление активизирующих покрытий электродов и почернение приэлектродных областей колбы.

Однако проведенные нами исследования показали, что наи-

большее распыление электродных покрытий и снижение срока службы происходит не при "холодных" включениях ЛЛ, а при включении их с недостаточно прогретыми электродами. Так, после 20 000 "холодных" включений ЛЛ мощностью 4 и 8 Вт производства ВНИИИС на них не было обнаружено даже следов почернения приэлектродных участков колбы.

Для зажигания ЛЛ на нее надо подать напряжение, в несколько раз превосходящее напряжение горения, а для максимального снижения напряжения зажигания необходимо предварительно прогреть электроды ЛЛ. Эти требования вызывают значительные усложнения схемы ЭПРА и тем самым его удлинение. Для решения этой задачи предложено и реализовано множество схемных решений.

При питании ЛЛ от сетей с частотой 50 или 60 Гц задача совмещения пускового и рабочего режимов (т. е. зажигания и стабилизации разряда) проще всего решается с помощью биметаллического стартера, шунтирующего разрядный промежуток ламп, включенных последовательно с индуктивным балластом. Однако при частотах выше 1 кГц индуктивность балластных дросселей становится столь малой, что запасенной в них энергии оказывается недостаточно для возникновения в лампах дугового разряда.

Наибольшее распространение в ЭПРА получили к настоящему времени резонансные схемы зажигания (см. рис. 3).

Если резонансная частота LC-контура, определяемая из соотношения:

$$f_{рез} = \frac{1}{2\pi \sqrt{LC}}$$

совпадает с первой гармоникой напряжения инвертора, то полное сопротивление контура для этой гармоники будет определяться

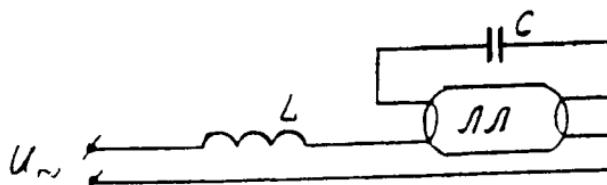


Рис. 3. Резонансная схема зажигания

только сопротивлением электродов лампы и активным сопротивлением дросселя, и в контуре протекает ток, ограниченный этим полным сопротивлением. Электроды быстро прогреваются, а на реактивных элементах контура ( $L$  и  $C$ ) возникает высокое резонансное напряжение, достаточное для пробоя разрядного промежутка и зажигания лампы при горячих электродах.

Благодаря своей простоте, резонансная схема зажигания применяется очень широко — не менее половины ЭПРА выпускаются именно с такой схемой. Однако эта схема имеет ряд существенных недостатков:

— высокое напряжение возникает на реактивных элементах схемы сразу после включения инвертора, т. е. лампа оказывается под напряжением при холодных электродах. Зажигание лампы, благодаря этому, происходит при недостаточно прогретых электродах, что приводит к сокращению срока службы ЛЛ и сводит к нулю одно из существенных преимуществ высокочастотного питания;

— ток прогрева электродов может достигать значений, в несколько раз превосходящих допустимые, так как сопротивление холодных электродов значительно меньше, чем горячих. Это также приводит к преждевременному износу электродов и сокращению срока службы ламп;

— большой ток прогрева вызывает необходимость использования силовых элементов инвертора с большими запасами по току и мощности. Опыт показывает, что почти 100 % выхода ЭПРА из строя происходит в моменты включения и первичной причиной отказа служит пробой транзисторов инвертора из-за их перегрузки при прогреве электродов в резонансных схемах;

— на реактивных элементах при резонансе возникает напряжение до 1 кВ, а иногда и выше. Это требует использования конденсаторов, рассчитанных на работу при таких высоких напряжениях, что, естественно, увеличивает не только их габариты и массу, но и цену.

Недостатки резонансной схемы привели к необходимости поиска альтернативных решений.

Довольно часто используются схемы ЭПРА с двумя генераторами (инверторами). Для прогрева электродов используется отдельный инвертор небольшой мощности, а основной инвертор включается с задержкой на (1,5 — 4) с (в зависимости от мощ-

ности ламп) после прогрева электродов до необходимой температуры. Для создания на лампе напряжения, достаточного для ее зажигания, параллельно лампе также может включаться конденсатор. Так как напряжение "горячего" зажигания в несколько раз ниже, чем "холодного", рабочее напряжение конденсатора и нагрузка инвертора в пусковом режиме в такой схеме значительно ниже, чем в простой резонансной схеме. После зажигания ЛЛ инвертор прогрева электродов автоматически отключается.

Известны также схемы ЭПРА, в которых для прогрева электродов и работы ламп используется один инвертор, работающий в двух режимах: пусковом и рабочем. Электроды прогреваются от специальных накальных обмоток выходного трансформатора инвертора через реактивные балласты, например, дроссели небольшой индуктивности. При включении инвертор работает на низкой частоте, пока не прогреются электроды. После прогрева электродов и зажигания лампы частота генерации автоматически увеличивается в 3 — 4 раза, благодаря чему ток подогрева резко уменьшается и перегрева электродов не происходит.

Современная база электронных компонентов ЭПРА позволяет реализовать совмещение функций поджига и стабилизации разряда множеством других схемных решений.

Интересно отметить, что почти все фирмы выпускают ЭПРА в вариантах холодного ("мгновенного") и горячего ("щадящего") зажигания ЛЛ. По сообщению представителей фирмы "Motorola", до 55 % осветительных установок с ЛЛ и ЭПРА в США работают в режиме "холодного" зажигания (в Европе и России пока "холодное" включение применяется редко). На Международной электротехнической выставке в Ганновере в 1998 г. образцы ЭПРА для "холодного" включения представили все крупнейшие фирмы, работающие в этой области. Гарантируемое количество включений ЛЛ в "холодном" режиме для ЭПРА фирмы "Motorola" составляет 15 000, в "горячем" — 20 000, в режиме «программируемого включения» (когда напряжение на лампу подается только после полного прогрева электродов) — до 200 000. Если ЛЛ в течение суток включается не более 5 раз (а это не менее 95 % всех осветительных установок), то "холодное" зажигание не приводит к сколько-нибудь заметному снижению срока службы ламп. Очевидно, что по-

скольку “холодное” зажигание позволяет не только значительно упрощать схемы ЭПРА (и тем самым снижать их стоимость), но и экономить электроэнергию (примерно до 2 Вт на каждой ЛЛ), схемы с “холодным” зажиганием будут превалировать в будущем. Это подтверждается, в частности, тем обстоятельством, что одна из интересных и перспективных конструкций компактных ЛЛ — спиралевидная — изготавливается фирмами “Narva” (ФРГ), МЭЛЗ (Россия) и другими с новым безопасным доколем Н19, допускающим только “холодное” включение.

Принципиальным недостатком “холодного” включения является невозможность регулирования светового потока ЛЛ.

Кроме рассмотренных основных узлов, ЭПРА иногда содержат и другие. Так, в последние годы все большее количество ЭПРА снабжено схемой защиты от аварийных режимов (коротких замыканий в цепи нагрузки, длительной работы в напряженном пусковом режиме из-за неисправности лампы, перенапряжений на выходе инвертора при незажегшейся лампе или ее отсутствии, бросках сетевого напряжения и т. п.). Проще всего задача защиты от аварийных режимов решается с помощью так называемых “пизисторов”, т. е. терморезисторов с большим положительным температурным коэффициентом сопротивления, включаемым последовательно либо со всем ЭПРА, либо с каким-нибудь из его функциональных узлов.

Кроме такого “лобового” решения, часто применяются более или менее сложные устройства с датчиками тока, напряжения или температуры, автоматически отключающие ЭПРА при превышении соответствующим параметром заданного уровня.

Еще одним “необходимым” узлом ЭПРА могут быть устройства, позволяющие регулировать световой поток ЛЛ. Как известно, световой поток ЛЛ пропорционален среднему значению тока через лампу. Это среднее значение можно изменять несколькими путями:

- изменением амплитуды выходного напряжения инвертора при неизменности его частоты, формы и параметров балласта;
- изменением формы выходного напряжения инвертора при неизменности его частоты, амплитуды и параметров балласта;
- изменением параметров балласта при неизменности выходных параметров инвертора;
- изменением частоты выходного напряжения инвертора

при неизменности прочих параметров;

— совокупностью изменения нескольких параметров.

Для обеспечения стабильного горения при различных уровнях светового потока ЛЛ любым из перечисленных способов регулирования необходимо, чтобы эмиссия электронов из электродов лампы была достаточной для возникновения и поддержания разряда с заданным значением среднего тока. Это означает, что при изменении светового потока ЛЛ необходимо подогревать электроды так, чтобы, с одной стороны, их температура обеспечивала достаточную эмиссию электронов при минимальных токах разряда, а с другой стороны — чтобы не было перегрева электродов при максимальных токах.

На практике первый из указанных способов регулирования светового потока ЛЛ, несмотря на его очевидность, не используется. Как правило, регулирование потока требуется производить только в одну сторону — снижения. В номинальном режиме выходное напряжение инвертора распределяется между балластом и лампой примерно поровну. Для устойчивого горения лампы необходимо, чтобы падение напряжения на балласте было не менее 20 % от суммарного напряжения. Напряжение на ЛЛ при изменении тока почти не изменяется (точнее — слабо растет при уменьшении тока), поэтому выходное напряжение инвертора можно снижать лишь в очень небольших пределах (реально — меньше, чем в два раза), в результате чего диапазон регулирования светового потока ЛЛ при таком способе очень невелик.

Второй способ регулирования — за счет изменения формы выходного напряжения — в настоящее время является наиболее распространенным. Созданы и выпускаются интегральные микросхемы, позволяющие изменять скважность (отношение длительности импульса к периоду следования импульсов) напряжения инверторов практически в любых пределах (так называемая “широко-импульсная модуляция”, ШИМ). Некоторые фирмы, например крупнейшая американская фирма “International Rectifier”, выпускают такие микросхемы специально для использования в электронных балластах ЛЛ. За счет изменения формы тока (при дополнительном подкале электродов по мере снижения тока через лампу) реально достигается стократное регулирование светового потока ЛЛ.

Третий способ регулирования — путем изменения параметров балласта при неизменности выходных параметров инверторов — исторически появился раньше других. Здесь в качестве балласта используются дроссели переменной индуктивности. Обычно это двухобмоточные дроссели на замкнутых магнитных сердечниках, магнитная проницаемость которых изменяется в широких пределах (так называемые "магнитные усилители"). Пропуская через одну обмотку постоянный ток (ток управления), можно изменять магнитную проницаемость сердечника и, тем самым, индуктивность второй обмотки, которая и является собственно балластом. Для повышения чувствительности, т. е. для уменьшения тока управления, вводят положительную обратную связь, например, в виде диодов. Этот способ также позволяет изменять световой поток ЛЛ в очень широких пределах (до 30 — 50 раз). В настоящее время такой способ регулирования применяется довольно редко, так как магнитные усилители являются достаточно дорогими.

Регулирование светового потока за счет изменения частоты выходного напряжения инвертора при неизменности остальных параметров применяется реже второго и третьего способов, так как для достижения достаточно широкого диапазона регулирования требуется изменение частоты в широких пределах, что усложняет проблемы защиты от радиопомех, излучаемых ЛЛ, хотя технически реализация этого способа в настоящее время не вызывает затруднений.

Комбинированный способ регулирования, когда одновременно изменяются несколько параметров как инвертора, так и балласта, при современной элементной базе вполне осуществим, однако практических устройств такого рода пока нам не известно.

## 2. Технико-экономические характеристики и области применения ЭПРА

Цены ЭПРА на мировом рынке пока еще значительно выше, чем электромагнитных ПРА. Например, цена ЭПРА фирмы "Motorola" для двух ЛЛ мощностью 58 Вт без регулирования светового потока — около 30 долларов; цена ЭПРА фирмы "Helvar" для одной ЛЛ мощностью 36 Вт с регулируемым световым потоком — также около 30 долларов, а цена электромагнитных ПРА для тех же ламп — не более 5 долларов. Тем не менее уже сегодня применение ЭПРА оказывается эко-

номически выгодным за счет значительной экономии электроэнергии. Если потери мощности в электромагнитных ПРА составляют в лучшем случае 15 % от мощности ламп, то потери в ЭПРА не превышают 10 %. Кроме того, как уже упоминалось, высокочастотное питание ЛЛ приводит к увеличению их световой отдачи (см. рис. 4). Это приводит к тому, что при равном световом потоке светильники с ЭПРА потребляют значительно меньшую мощность, что и определяет их экономичность.

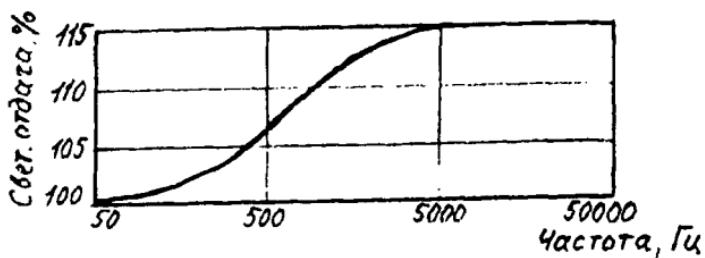


Рис. 4.

Фирмы "Osram" и "Motorola" в своих каталогах приводят расчет сроков окупаемости ЭПРА в крупных осветительных установках. В зависимости от среднегодовой наработки ламп при современной цене электроэнергии (0,28 марки в Германии и 0,08 доллара в США за 1 кВт·ч) срок окупаемости составляет:  
 при наработке 3000 ч — 3 — 4 года;  
 при наработке 5000 ч — 2,5 — 3 года;  
 при наработке 8760 ч — 1 — 1,5 года.

Кроме снижения расходов на электроэнергию, ЭПРА позволяют уменьшить эксплуатационные расходы также и за счет увеличения срока службы ЛЛ, так как реже может производиться замена вышедших из строя ламп. На рис. 5 и 6 показаны спад светового потока и процент выхода из строя ЛЛ при работе их с ЭПРА и электромагнитными ПРА. Это преимущество ЭПРА также особенно заметно проявляется в многоламповых светильниках при большой годовой наработке.

Благодаря исключению пульсаций светового потока ЛЛ при высокочастотном питании, ЭПРА позволяют создавать одноламповые светильники местного освещения, пригодные для использования в таких местах, где применение ЛЛ с элек-

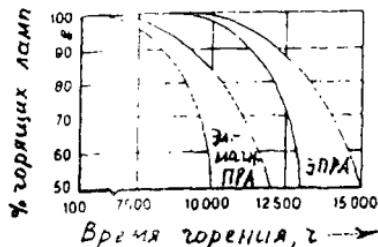


Рис. 5.

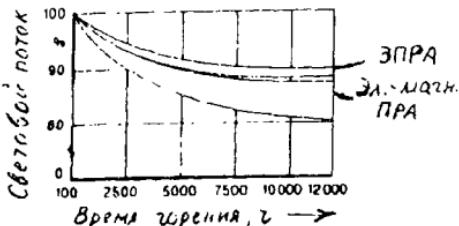


Рис. 6.

тромагнитными ПРА недопустимо из-за создаваемого ими стробоскопического эффекта (например, металлорежущие и другие станки).

Значительное уменьшение потерь мощности вызывает и меньший нагрев ЭПРА, что позволяет использовать их в светильниках, предназначенных для установки на легковоспламеняющихся предметах (светильники со знаками  $\triangle F$  и  $\triangle FF$  по международной системе маркировки).

Учитывая, что применение ЭПРА позволяет повысить и качество освещения (исключение пульсаций светового потока, исключение акустических помех, возможность регулирования светового потока), можно уверенно прогнозировать полное вытеснение электромагнитных ПРА в ближайшие десятилетия.

Крупнейшими производителями ЭПРА являются фирмы "Tridonic" (Австрия), "Osram" и "Vossloh — Schwabe" (Германия), "Motorola" (США), "Helvar" (Финляндия), "Philips" (Нидерланды), "Matsushita" (Япония), "ERC", "Tector" и "Relco" (Италия).

В России производство ЭПРА началось еще в конце 60-х годов — в ЦКБ Приборостроения (г. Ульяновск) и ВНИСИ были разработаны и изготовлены ЭПРА для питания ЛЛ мощностью 4 и 8 Вт от сети постоянного тока с номинальным напряжением 27 В, предназначенные для светильников внутреннего освещения пилотируемых космических объектов.

В 80-е годы производство ЭПРА было начато на Кадошкинском электротехническом заводе (п. Кадошино, Мордовия). В настоящее время ЭПРА изготавливаются рядом предприятий

России: "СИТЭЛ" (Москва), "Элкомс" (Москва), "ЭЛиПС" (Москва), "ЭЛИЗ" (г. Фрязино, Московской области), Ульяновский радиоламповый завод (г. Ульяновск) и др. Из стран СНГ производство ЭПРА налажено в Белоруссии (ЭНЭФ, г. Молодечно) и на Украине (ВАТРА, г. Тернополь).

Номинальные параметры и конструкция ЭПРА, выпускаемых различными фирмами, практически одинаковы. Как правило, принципиальные схемы ЭПРА фирмами не раскрываются.

В приложениях 1 — 6 в качестве примера приведены основные электрические и конструктивные параметры ЭПРА некоторых ведущих фирм Европы и США, а также Ульяновского радиолампового завода и предприятия ЭНЭФ (г. Молодечно, Белоруссия).

## Список литературы

1. Рохлин Г.Н. Разрядные источники света. Москва, Энергоиздат, 1991 г.
2. Справочная книга по светотехнике. Под редакцией Ю.Б. Айзенберга. Москва, Энергоиздат, 1995 г.
3. Краснопольский А.Е., Соколов В.Б., Троицкий А.М. Пускорегулирующие аппараты для газоразрядных ламп. Москва, Энергоиздат, 1988 г.
4. Фугенфирров М.И. Электрические схемы с газоразрядными лампами. Москва, Энергия, 1974 г.
5. Каталоги фирм "Osram", "Philips", "Tridonic", "Vossloh-Schwabe", "Motorola", "Helvar", "Matsushita" и др. 1997 — 1998 гг.
6. Материалы семинара "Электронные балласты для люминесцентных ламп". Московское представительство фирмы "International Rectifier" (США). Москва, 1998 г.
7. Информационные материалы АО "ЭНЭФ". Ульяновского радиолампового завода и др. 1998 г.

# Приложение 1

## Параметры ЭПРА фирмы “Osram”(ФРГ)

1. ЭПРА “Quicrtronic-Instant Start” — с одним холодным электродом.

Напряжение сети — (220 — 240) В переменного или постоянного тока; частота инвертора — 40 кГц; время включения — 0,3 с; коэффициент мощности  $\lambda = 0,95 — 0,97$ ; температура эксплуатации — от  $-15^{\circ}\text{C}$  до  $+50^{\circ}\text{C}$

Тип ЭПРА	Номинальная мощность лампы, Вт	Комплект ЛЛ + ЭПРА			Габариты, мм <sup>3</sup>	Масса, кг
		I, А	P, Вт	Φ, лм		
QTIS B1 × 36/230—240	36	0,16	36	3200	359 × 30 × 29	0,28
QTIS B1 × 58/230—240	58	0,25	55	5000	359 × 30 × 29	0,28
QTIS B2 × 36/230—240	2 × 36	0,32	70	6400	423 × 42 × 29	0,415
QTIS B2 × 58/230—240	2 × 58	0,48	110	10 000	423 × 42 × 29	0,415

2. ЭПРА “Quicrtronic Short” — горячее включение

Напряжение сети — (220 — 240) В переменного или постоянного тока; частота инвертора — 32 кГц в одноламповом и 48 кГц в двухламповом вариантах; время прогрева — 1,5 с; коэффициент мощности  $\lambda = 0,99$

Тип ЭПРА	Номинальная мощность лампы, Вт	Комплект ЛЛ + ЭПРА			Габариты, мм <sup>3</sup>	Масса, кг
		I, А	P, Вт	Φ, лм		
QTS 1 × 55-58/230—240	1 × 58	0,25	56	5000	237 × 42 × 29	0,23
	DL 1 × 55	0,25	54	4600	237 × 42 × 29	0,23
QTS 2 × 58/230—240	2 × 58	0,47	107	2 × 5000	280 × 42 × 29	0,34

### 3. ЭПРА “Quicrtronic Professional”

Предварительный прогрев электродов — 2с; коэффициент мощности  $\lambda=0,96$  — 0,99

Тип ЭПРА	Номинальная мощность лампы, Вт	Комплект ЛЛ+ЭПРА			Габариты, мм <sup>3</sup>	Мас-са, кг
		I, А	P, Вт	Φ, лм		
QTR 1 × 36/230–240	1 × 36(38)	0,16	35	3100	359 × 30 × 29	0
QTR 1 × 58/230–240	1 × 58	0,25	55	4800	359 × 30 × 29	0,27
QTR 2 × 36/230–240	2 × 36	0,31	70	6200	423 × 30 × 29	0,4
QTR 2 × 58/230–240	2 × 55	0,49	110	9500	23 × 30 × 29	0,4
QTES 3 × 18/230–240	3 × 18	0,27	61	3900	23 × 40 × 29	0,415
QTES 4 × 18/230–240	4 × 18	0,35	77	5200	23 × 40 × 29	0,415

### ЭПРА “Quicrtronic Deluxe Dimmable” с регулированием светового потока

Горячее зажигание (прогрев 2 с); напряжение сети — (220 – 230) В постоянного или переменного тока; частота инвертора — от 40 кГц при максимальном и до 70 кГц при минимальном световом потоке; коэффициент мощности  $\lambda = 0,95$  — 0,99; температура эксплуатации — от +5 до +50 °C

Тип ЭПРА	Номинальная мощность лампы, Вт	Комплект ЛЛ+ЭПРА			Габариты, мм <sup>3</sup>	Мас-са, кг
		I, А	P, Вт	Φ, лм		
HF 1 × 18/230–240 DIM	1 × 18	0,1	18	1300	359 × 30 × 29	0,3
HF 1 × 36/230–240 DIM	1 × 36	0,17	36	3200	359 × 30 × 29	0,31
HF 1 × 58/230–240 DIM	1 × 58	0,26	56	5000	359 × 30 × 29	0,31
HF 2 × 18/230–240 DIM	2 × 18	0,18	36	2600	423 × 42 × 29	0,48
HF 2 × 36/230–240 DIM	2 × 36	0,31	71	6400	423 × 42 × 29	0,48
HF 2 × 58/230–240 DIM	2 × 58	0,5	114	10 000	423 × 42 × 29	0,48

## Приложение 2

### Параметры ЭПРА фирмы “Motorola”, (США)

#### 1. ЭПРА серии *Gold Edition* для включения ЛЛ без предварительного прогрева

Напряжение сети — (220 — 230) В; частота генерации  $\geq 25$  кГц;  $\lambda = 0,99$ ; температура эксплуатации — от  $-20^{\circ}\text{C}$  до  $+50^{\circ}\text{C}$

Тип ЭПРА	Номинальная мощность лампы, Вт	Комплект ЛЛ + ЭПРА		Габариты, $\text{мм}^3$	Масса, кг
		I, А	P, Вт		
M1-IN-T8/58-C	1 × 58	0,25	55	300 × 40 × 28	0,291
M2-IN-T8/58-H	2 × 58	0,5	110	387 × 40 × 28	0,418
M1-IN-T8/36-C	1 × 36	0,16	36	300 × 40 × 28	0,291
M2-IN-T8/36-C	2 × 36	0,32	72	300 × 40 × 28	0,354
M1-IN-T8/18-C	1 × 18	0,08	17	300 × 40 × 28	0,291
M2-IN-T8/18-C	2 × 18	0,16	36	300 × 40 × 28	0,354
M3-IN-T8/18-C	3 × 18	0,24	53	300 × 40 × 28	0,354
M4-IN-T8/18-C	4 × 18	0,31	70	300 × 40 × 28	0,354

#### 2. ЭПРА серии *Gold Edition* для включения ЛЛ с предварительным подогревом

Напряжение сети — (220 — 240) В; частота генерации  $> 25$  кГц;  $\lambda = 0,99$ ; температура эксплуатации — от  $-20^{\circ}\text{C}$  до  $+50^{\circ}\text{C}$

Тип ЭПРА	Номинальная мощность лампы, Вт	Комплект ЛЛ + ЭПРА		Габариты, $\text{мм}^3$	Масса, кг
		I, А	P, Вт		
M1-PN-T8/58-C	1 × 58	0,29	58	300 × 40 × 28	0,293
M1-PN-T8/36-C	1 × 36	0,19	39	300 × 40 × 28	0,293
M1-PN-T8/18-C	1 × 18	0,09	19	300 × 40 × 28	0,293
M2-PN-T8/58-C	2 × 58	0,65	120	387 × 40 × 28	0,38
M2-PN-T8/36-C	2 × 36	0,36	75	300 × 40 × 28	0,293
M2-PN-T8/18-C	2 × 18	0,19	39	300 × 40 × 28	0,293

### 3. ЭПРА серии **Lord Edition** для быстрого включения ЛЛ с прогревом электродов

Напряжение сети — 230 В; частота генерации  $\geq 25$  кГц;  $\lambda = 0,85$ ; температура эксплуатации — от  $+5^{\circ}\text{C}$  до  $+50^{\circ}\text{C}$

Тип ЭПРА	Номинальная мощность лампы, Вт	Комплект ЛЛ + ЭПРА		Габариты, мм <sup>3</sup>	Масса, кг
		I, А	P, Вт		
M1-RN-T8-1LL-D	1 × 32	0,14	32	241 × 43,2 × 38,1	0,41
	1 × 25	0,1	23		
	1 × 17	0,08	16		
M2-RN-T8-1LL-D	2 × 32	0,31	61	241 × 43,2 × 38,1	0,41
	2 × 25	0,22	45		
	2 × 17	0,17	30		
M3-RN-T8-1LL-B	3 × 32	0,45	93	241 × 60 × 31,8	0,59
M1-RN-T8/36-D	1 × 36	0,21	40	241 × 43,2 × 38,1	0,41
	1 × 40	0,21	40		
	1 × 30	0,16	32		
	1 × 20	0,13	26		
	1 × 18	0,13	26		
M2-RN-T8/36-D	2 × 36	0,36	76	241 × 43,2 × 38,1	0,41
	2 × 40	0,36	76		
	2 × 30	0,29	59		
	2 × 20	0,2	42		
	2 × 18	0,2	42		
M3-RN-T8/36-B	3 × 36	0,57	117	241 × 60 × 31,8	0,59
	3 × 40	0,55	116		

## Приложение 3

### Параметры ЭПРА фирмы “Philips” (Нидерланды)

#### 1. ЭПРА с предварительным прогревом электродов с внешним индуктивным фильтром для включения КЛЛ PL-L

Напряжение сети — (220 — 240) В, 50 Гц или (200 — 310) В постоянного тока; время прогрева электродов — 2 с;  $\lambda = 0,95$ ; температура эксплуатации — от  $-15^{\circ}\text{C}$  до  $+70^{\circ}\text{C}$ ; габариты ЭПРА  $280 \times 40 \times 28$  мм<sup>3</sup>; суммарная масса ЭПРА и фильтра — 0,9 кг; частота генерации — 24 — 31 кГц

Тип	Лампа, Вт	Лампа+ЭПРА			Потери в ЭПРА, Вт
		I, А	P, Вт	H, лм/Вт	
BPL 124 S 18	1 × 24	0,12	25	72	3
BPL 124 S 18	2 × 24	0,22	49	72	5
BPL 136 S 18	1 × 36	0,16	36	81	4
BPL 236 S 18	2 × 36	0,32	72	81	8
BPL 140 S 18	1 × 40	0,2	45	79	5
BPL 240 S 18	2 × 40	0,4	89	79	9
BPL 155 S 18	1 × 55	0,28	62	77	7
BPL 255 S 18	2 × 55	0,56	124	77	14

#### 2. ЭПРА с предварительным прогревом электродов со встроенным фильтром для включения КЛЛ PL-L

$\lambda \geq 0,96$ ; параметры питающей сети и температура эксплуатации — аналогично ЭПРА предыдущего типа

Тип	Лампа, Вт	Лампа+ЭПРА			Габариты, мм <sup>3</sup>	Масса, кг
		I, А	P, Вт	H, лм/Вт		
HF-P 136 PL-L	1 × 36	0,16	36	81	335 × 38 × 28	0,35
HF-P 236 PL-L	2 × 36	0,31	72	81	425 × 39 × 28	0,51
HF-P 140 PL-L	1 × 40	0,2	45	78	335 × 39 × 28	0,35
HF-P 240 PL-L	2 × 40	0,4	89	79	425 × 39 × 28	0,51
HF-P 155 PL-L	1 × 55	0,25	58	78	335 × 39 × 28	0,35
HF-P 255 PL-L	2 × 55	0,5	116	78	425 × 39 × 28	0,51

**3. ЭПРА для включения ЛЛ типа TL-D и TL-D HF с предварительным прогревом электродов и возможностью регулирования светового потока (до 10 % номинального значения)**

Напряжение сети — (220 — 240) В, 50 — 60 Гц или (180 — 300) В постоянного тока; частота генерации — 42 кГц; время прогрева — 2 с;  $\lambda = 0,9$ ; температура эксплуатации — от 0 °С до +50 °С

Тип	Лампа, Вт	Лампа+ЭПРА			Габариты, мм <sup>3</sup>	Масса, кг
		I, А	P, Вт	H, лм/Вт		
ETC 118 R/04	1 × 18	0,1	21	65	335 × 39 × 28	0,34
ETC 218 R/04	2 × 18	0,19	38	74	425 × 39 × 28	0,56
ETC 136 R/04	1 × 36	0,17	38	84	335 × 39 × 28	0,36
ETC 236 R/04	2 × 36	0,36	76	84	425 × 39 × 28	0,56
ETC 155 R/04	1 × 55	0,27	58	86	335 × 39 × 28	0,36
ETC 255 R/04	2 × 55	0,52	112	89	425 × 39 × 28	0,56

**4. ЭПРА для включения КЛЛ PL-L и PL-S с предварительным прогревом электродов**

Напряжение сети — (220 — 240) В, 50 — 60 Гц или (200 — 270) В постоянного тока; частота генерации — 25 кГц; время прогрева — 2 с;  $\lambda = 0,9$ ; температура эксплуатации — от 0 °С до +50 °С

Тип	Лампа, Вт	Лампа+ЭПРА			Габариты, мм <sup>3</sup>	Масса, кг
		I, А	P, Вт	H, лм/Вт		
EPC 11 S/00	5	0,05	6,5	38	158 × 40 × 28	0,13
	7	0,06	8	50	158 × 40 × 28	0,13
	9	0,075	10	60	158 × 40 × 28	0,13
	11	0,1	14,5	62	158 × 40 × 28	0,13
	10	0,08	10,5	57	158 × 40 × 28	0,13
	13	0,105	15	60	158 × 40 × 28	0,13
EPC 118 S/00	18	0,09	19	63	158 × 40 × 28	0,13
EPC 118 S/40	18	0,085	19	63	185 × 40 × 28	0,15

# Приложение 4

## Параметры ЭПРА фирмы “Tridonic” (Австрия)

**1. ЭПРА для включения линейных ЛЛ мощностью от 16 до 70 Вт с предварительным прогревом электродов**

Напряжение сети — (220 — 240) В, 50 Гц; частота генерации — 35 — 40 кГц;  $\lambda = 0,96$ ; температура эксплуатации — от  $-15^{\circ}\text{C}$  до  $+60^{\circ}\text{C}$

Тип	Номинальная мощность лампы, Вт	Лампа+ЭПРА		Потери мощности в ЭПРА, Вт	Габариты, $\text{мм}^3$	Масса, кг
		I, А	P, Вт			
PC 16 C 001	16, 18, 20	0,08	19	3	$234 \times 40 \times 28$	0,48
PC 2 × 16 C 001	2 × 16, 18, 20	0,16	36	4	$234 \times 40 \times 28$	0,48
PC 3 × 16 C 001	3 × 16, 18	0,24	55	7	$234 \times 40 \times 28$	0,48
PC 30 C 001	30	0,12	27	3	$234 \times 40 \times 28$	0,48
PC 2 × 30 C 001	2 × 30	0,26	57	9	$234 \times 40 \times 28$	0,48
PC 32 C 001	32, 36, 40	0,16	36	4	$234 \times 40 \times 28$	0,48
PC 2 × 32 C 001	2 × 32, 36, 40	0,32	70	6	$394 \times 40 \times 28$	0,91
PC 38 C 001	38	0,19	41	4	$234 \times 40 \times 28$	0,48
PC 2 × 38 C 001	2 × 38	0,35	82	8	$394 \times 40 \times 28$	0,91
PC 50 C 001	50, 58, 65	0,25	55	5	$234 \times 40 \times 28$	0,48
PC 2 × 50 C 001	2 × 50, 58, 65	0,5	110	10	$394 \times 40 \times 28$	0,91
C 70 C 001	70	0,31	71	6	$394 \times 40 \times 28$	0,89
PC 2 × 70 C 001	2 × 70	0,62	141	11	$394 \times 40 \times 28$	0,91

**2. ЭПРА для включения компактных ЛЛ мощностью от 18 до 55 Вт с предварительным прогревом электродов**

Напряжение сети — (220 — 240) В, 50 Гц; частота генерации — 30 — 40 кГц;  $\lambda = 0,96$ ; температура эксплуатации — от  $-15^{\circ}\text{C}$  до  $+60^{\circ}\text{C}$

Тип	Номинальная мощность лампы, Вт	Лампа + ЭПРА		Потери мощности в ЭПРА, Вт	Габариты, мм <sup>3</sup>	Масса, кг
		I, А	P, Вт			
PC 18 TCL 001	18	0,09	19	3	234 × 40 × 28	0,48
PC 2 × 18 TCL 001	2 × 18	0,17	37	5	234 × 40 × 28	0,48
PC 24 TCL 001	24	0,11	25	3	234 × 40 × 28	0,48
PC 2 × 24 TCL 00	2 × 24	0,23	50	6	234 × 40 × 28	0,48
PC 36 TCL 001	36	0,17	38	4	234 × 40 × 28	0,48
PC 2 × 36 TCL 00	2 × 36	0,34	75	7	394 × 40 × 28	0,91
PC 40 TCL 001	40	0,2	45	5	234 × 40 × 28	0,48
PC 2 × 40 TCL 00	2 × 40	0,39	88	8	394 × 40 × 28	0,91
PC 55 TCL 001	55	0,27	61	6	234 × 40 × 28	0,48
PC 2 × 55 TCL 00	2 × 55	0,54	120	10	394 × 40 × 28	0,91

### 3. Компактные ЭПРА для включения компактных ЛЛ мощностью от 9 до 26 Вт с предварительным прогревом электродов

Напряжение сети — (220 — 240) В, 50 Гц; частота генерации — 30 кГц;  $\lambda = 0,99$ ; температура эксплуатации — от  $-15^{\circ}\text{C}$  до  $+60^{\circ}\text{C}$

Тип	Номинальная мощность лампы, Вт	Лампа + ЭПРА		Потери мощности в ЭПРА, Вт	Габариты, мм <sup>3</sup>	Масса, кг
		I, А	P, Вт			
PC 9-13C111 TCD	9 — 13	0,07	15,5	1,5	103 × 68 × 30	0,17
PC 2 × 9-13C111 TCD	2 × 9 — 13	0,14	30	2	123 × 80 × 30	0,2
PC 18C111 TCD	18	0,09	20	2	103 × 68 × 30	0,17
PC 2 × 18C111 TCD	2 × 18	0,18	41	3	123 × 80 × 30	0,2
PC 26C111 TCD	26	0,12	28	3	103 × 68 × 30	0,17
PC 2 × 26C111 TCD	2 × 26	0,24	55	5	123 × 80 × 30	0,2

### 4. ЭПРА для включения ЛЛ мощностью от 16 до 58 Вт с предварительным прогревом электродов и возможностью регулирования светового потока в системе “Luxcontrol” (до 1 %)

Напряжение сети — (220 — 240) В, 50 — 60 Гц; частота генерации — 25 — 65 кГц;  $\lambda = 0,95 — 0,99$ ; температура эксплуатации — от  $-25^{\circ}\text{C}$  до  $+60^{\circ}\text{C}$  (регулирование светового потока до 1 % при температурах от 0 до  $+60^{\circ}\text{C}$ )

Тип	Номинальная мощность лампы, Вт	Лампа + ЭПРА		Потери мощности в ЭПРА, Вт	Габариты, мм <sup>3</sup>	Мас-са, кг
		I, А	P, Вт			
PC 16 A 001	16/18	0,09	20	4	274 × 40 × 28	0,32
PC 2 × 16 A 001	2 × 16/18	0,17	37	5	354 × 40 × 28	0,44
PC 32 A 001	32/36	0,16	36	4	274 × 40 × 28	0,32
PC 2 × 32 A 001	2 × 32/36	0,31	69	5	354 × 40 × 28	0,44
PC 50 A 001	50/58	0,25	56	6	274 × 40 × 28	0,32
PC 2 × 50 A 001	2 × 50/58	0,47	109	9	354 × 40 × 28	0,44

**5. Компактные ЭПРА для включения ЛЛ мощностью от 18 до 26 Вт с предварительным прогревом электродов с возможностью регулирования светового потока в системе "Luxcontrol" (до 3 %)**

Напряжение сети — (220 — 240) В, 50 — 60 Гц; частота генерации — 20 — 80 кГц;  $\lambda = 0,97$ ; температура эксплуатации — от  $-15^{\circ}\text{C}$  до  $+60^{\circ}\text{C}$  (регулирование светового потока до 3% при температурах от  $+5^{\circ}\text{C}$  до  $+50^{\circ}\text{C}$ )

Тип	Номинальная мощность лампы, Вт	Лампа + ЭПРА		Потери мощности в ЭПРА, Вт	Габариты, мм <sup>3</sup>	Мас-са, кг
		I, А	P, Вт			
PC 18 A 111	18	0,09	19,5	3	123 × 80 × 30	0,22
PC 2 × 18 A 111	2 × 18	0,17	39	6	123 × 100 × 30	0,26
PC 26 A 111	26	0,12	28	4	123 × 80 × 30	0,22
PC 2 × 26 A 111	2 × 26	0,25	56,5	8,5	123 × 100 × 30	0,26

**6. ЭПРА для включения КЛЛ PL-L с прогревом электродов с регулированием светового потока (до 25 %)**

Напряжение сети — (230 — 240) В, 50 — 60 Гц или (250 — 310) В постоянного тока; частота генерации — 22 кГц;  $\lambda = 0,96$ ; температура эксплуатации — от  $+5^{\circ}\text{C}$  до  $+50^{\circ}\text{C}$

Тип	Номинальная мощность лампы, Вт	Лампа + ЭПРА		Потери мощности в ЭПРА, Вт	Габариты, мм <sup>3</sup>	Мас-са, кг
		I, А	P, Вт			
BPL-136D 13/14	1 × 36	0,16	36	81	430 × 40 × 28(ПРА)	1
BPL-236D 13/14	2 × 36	0,32	72	81	156 × 39 × 28(фил.)	1,1
BPL-155D 13/14	1 × 55	0,27	62	77		1

## Приложение 5

### Параметры ЭПРА Ульяновского радиолампового завода

#### 1. ЭПРА для включения ЛЛ мощностью 4, 6, 13 и 20 Вт с прогревом электродов

Напряжение сети 220 В ± 10 %, 50 Гц; время прогрева — (0,5 — 1,5) с;  $\lambda = 0,55$ ; температура эксплуатации — от -30 °C до +40 °C

Тип	Мощность лампы, Вт	Лампа + ЭПРА $P_{\max}$ , Вт	Габариты, мм <sup>3</sup>	Масса, кг
АПП В 03	4	6	159 × 40 × 25 (бескорпусное исполнение)	0,3
	6	8		
	8	10		
	13	15,5		
АПП В 01	2 × 20	40	314 × 40 × 25 (в корпусе)	0,5
	1 × 20	25		

#### 2. ЭПРА для включения компактных ЛЛ с прогревом электродов

Напряжение сети 220 В ± 10 %, 50 Гц; время прогрева — (0,4 — 1) с;  $\lambda = 0,55$ ; температура эксплуатации — от -5 °C до +35 °C

Тип	Мощность лампы, Вт	Лампа + ЭПРА $P_{\max}$ , Вт	Габариты, мм <sup>3</sup>	Масса, кг
АПП В 04	КЛЛ 18	22	200 × 40 × 25 (бескорпусное исполнение)	0,4
	24	29		
	36	43		
АПП Б 02 Д54	2 × 5	14	диаметр — 54 мм, высота — 40 мм (бескорпусное исполнение)	0,1
	2 × 7	17		
	2 × 9	22		

## Приложение 6

### Параметры ЭПРА предприятия ЭНЭФ

#### 1. ЭПРА для включения ЛЛ с подогревом и без подогрева электродов

Напряжение сети (180 — 250) В, 50 Гц;  $\lambda = 0,6$ ; температура эксплуатации — до  $-30^{\circ}\text{C}$ ; стабилизация светового потока во всем диапазоне напряжений

Тип	Мощность лампы, Вт	Лампа + ЭПРА $I_{\text{макс}}, \text{А}$	Габариты, $\text{мм}^3$	Масса, кг
ЭПРА-Л~220-1×8	8	0,07	$190 \times 24 \times 27$	0,13
ЭПРА-Л~220-1×18	18	0,14	$190 \times 24 \times 27$	0,13
ЭПРА-Л~220-1×30	30	0,23	$190 \times 24 \times 27$	0,13
ЭПРА-Л~220-1×36	36	0,23	$190 \times 24 \times 27$	0,13

#### 2. ЭПРА для включений ЛЛ с подогревом или без подогрева электродов

Напряжение сети (180 — 250) В, 50 Гц;  $\lambda = 0,98$ ; стабилизация светового потока во всем диапазоне напряжений

Тип	Мощность лампы, Вт	Лампа + ЭПРА $I_{\text{макс}}, \text{А}$	Габариты, $\text{мм}^3$	Масса, кг
ЭПРА-Л~220-1×36	36	0,17	$290 \times 27 \times 27$	0,26
ЭПРА-Л~220-2×18	$2 \times 18$	0,17	$290 \times 27 \times 27$	0,26
ЭПРА-Л~220-2×36	$2 \times 36$	0,34	$310 \times 42 \times 27$	0,27
ЭПРА-Л~220-4×18	$4 \times 18$	0,34	$310 \times 42 \times 27$	0,27

#### 3. ЭПРА для включений ЛЛ с подогревом или без подогрева электродов в сети постоянного тока

Напряжение сети — 12, 24, 80, 100 В. ЭПРА на 80 и 110 В со стабилизацией мощности

Тип	$U_{\text{пит}}^{\circ}$ , В	Мощность лампы, Вт	$I$ , А	Габариты, мм <sup>3</sup>	Масса, кг
ЭПРА Л=12 1×8	12	8	1	120×50×27	0,2
ЭПРА Л=12 1×18	12	18	1,4	120×50×27	0,2
ЭПРА Л=24 1×8	24	8	0,5	120×50×27	0,2
ЭПРА Л=24 1×18	24	18	1	120×50×27	0,2
ЭПРА Л=24 1×30	24	30	1,2	120×50×27	0,2
ЭПРА Л=80 2×20	80	2×20	0,5	310×42×27	0,27
ЭПРА Л=110 1×80	110	8	0,08	190×42×27	0,2
ЭПРА Л=110 2×8	110	2×8	0,16	190×42×27	0,2
ЭПРА Л=110 1×20	110	20	0,19	190×42×27	0,2
ЭПРА Л=110 2×20	110	2×20	0,36	310×42×27	0,27

# **Электронные пускорегулирующие аппараты для разрядных ламп высокого давления**

**М.Ю. Березкин, А.М. Троицкий**

В настоящее время большое внимание уделяется разработке и внедрению ресурсо- и энергосберегающих технологий. Если использовать все известные современные способы повышения эффективности освещения, а одним из таких способов является использование электронных пускорегулирующих аппаратов (ЭПРА), в установках наружного и внутреннего освещения жилья можно сэкономить от 56 % до 64 % электрической энергии [1]. Замена традиционных пускорегулирующих аппаратов на электронные позволяет, кроме того, увеличить срок службы ламп и получить экономию дорогих остродефицитных материалов, таких как медь и электротехническая сталь. Светильники, укомплектованные электронными ПРА, обладают меньшими значениями веса и потребляемой мощности, пульсация их светового потока практически отсутствует, что особенно важно для натриевых ламп высокого давления (НЛВД) и металлогалогенных ламп (МГЛ).

Лампы высокого давления (ЛВД) обладают рядом особенностей, обусловленных физическими процессами в столбе разряда и вносящих определенную специфику в основные функции ПРА.

1. В пусковом режиме ПРА должен обеспечить напряжение, достаточное для надежного зажигания ламп. Измеренные нами действующие значения напряжения зажигания в высокочастотной резонансной схеме составили: 215 – 220 В для лампы ДРТ-230, 1000 – 1200 В для ДНаТ-250, ДНаТ-400. Наибольшие трудности вызывает зажигание НЛВД и МГЛ.

Выполненный расчет пускового режима резонансного контура с ЛВД при прямоугольном питающем напряжении показывает,

что в точке полного резонанса напряжение холостого хода в девять раз превышает напряжение питания контура. Так, если использовать для питания резонансного контура инвертор, применяемый в схемах с ЛЛ, то надежное зажигание НЛВД и МГЛ проблематично и приводит к необходимости существенного (3 – 4-х кратного) запаса по допустимому току ключевых элементов ЭПРА по отношению к рабочему режиму, и, как следствие, к снижению надежности и большим тепловым потерям в режиме холостого хода. Наиболее ощутимо это становится при выходе лампы из строя или ее отсутствии, когда режим холостого хода существует продолжительное время.

2. За зажиганием лампы следует достаточно длительный процесс ее разгорания, составляющий для различных ЛВД от 2 до 6 мин. В течение этого времени напряжение на лампе растет от 20 – 30 В до номинального значения, составляющего 70 В, 100 В, 130 В для ламп ДРТ, ДНаТ, ДРИ и ДРЛ мощностью 230 – 400 Вт соответственно (при работе ламп на промышленной частоте). При высокочастотном питании напряжение на лампе ДРТ остается примерно тем же, а на ДНаТ оказывается на 15 – 20 % ниже. В начале процесса разгорания ПРА работает в режиме, близком к короткому замыканию нагрузки, а ток в контуре с лампой ограничен лишь сопротивлением балласта. Нагрузка высокочастотного инвертора ЭПРА в этом случае носит чисто реактивный (индуктивный) характер, а обратные диоды инвертора будут работать в наиболее напряженном режиме.

3. В процессе эксплуатации происходит постепенный рост напряжения на натриевых и металлогалогенных лампах.

Продолжительность горения ЛВД на промышленной частоте определяется известным переходом лампы в циклический режим из-за роста напряжения перезажигания. Повышение частоты питающего напряжения приводит к уменьшению и полному исчезновению пиков перезажигания, а механизм погасания разряда при высокочастотном питании связан с нарушением условий устойчивости работы лампы в комплекте с ЭПРА.

Наличие жидкой фазы амальгамы натрия в НЛВД и работа

ламп в условиях насыщенных паров в течение всего срока службы обуславливают резкую зависимость всех характеристик НЛВД от температуры и состава амальгамы. Подобное влияние оказывает йодид натрия и на характеристики МГЛ. В отличие от ламп, работающих в условиях ненасыщенных паров (ДРЛ, ДРТ), имеющих "безразличные" "медленные" вольт-амперные характеристики (ВАХ) со слабой зависимостью напряжения от тока, лампы ДНаТ характеризуются резко возрастающей ВАХ для равновесной температуры разрядной трубы. Такая зависимость обуславливает более сильное влияние параметров ПРА и питающей сети на характеристики лампы.

При реальных значениях колебаний сетевого напряжения [2] (более  $\pm 5\%$ ) вольт-мощностная характеристика комплекта "электромагнитный ПРА — НЛВД" выходит за рамки четырехугольника, построенного в соответствии с требованиями МЭК, что говорит о превышении допустимого уровня мощности лампы практически в течение всего срока службы [3].

В электронном ПРА дело обстоит еще сложнее. По нашим расчетам, характеристическая кривая комплекта "ЭПРА — ЛВД" такова, что даже при стабильном питающем напряжении мощность лампы может увеличиваться на 92 %, что совершенно недопустимо (согласно публикации МЭК, допускается превышение мощности НЛВД на 16 % от номинального значения).

Ограничение электрического режима ламп в общем случае возможно путем организации обратных связей по току лампы, напряжению на ней и ее мощности.

Наилучший результат дает введение в ЭПРА цепи обратной связи по мощности лампы. Такая обратная связь способна ограничить мощность на нужном уровне как при отклонениях питающего напряжения, так и при изменении напряжения лампы. Кроме того, наличие в составе ЭПРА обратной связи по мощности лампы увеличит срок ее службы, так как позволит работать с более высокими значениями напряжения лампы (погасание произойдет в тот момент, когда "быстрая" ВАХ лампы станет касательной к внешней характеристике высокочастотного балластного контура).

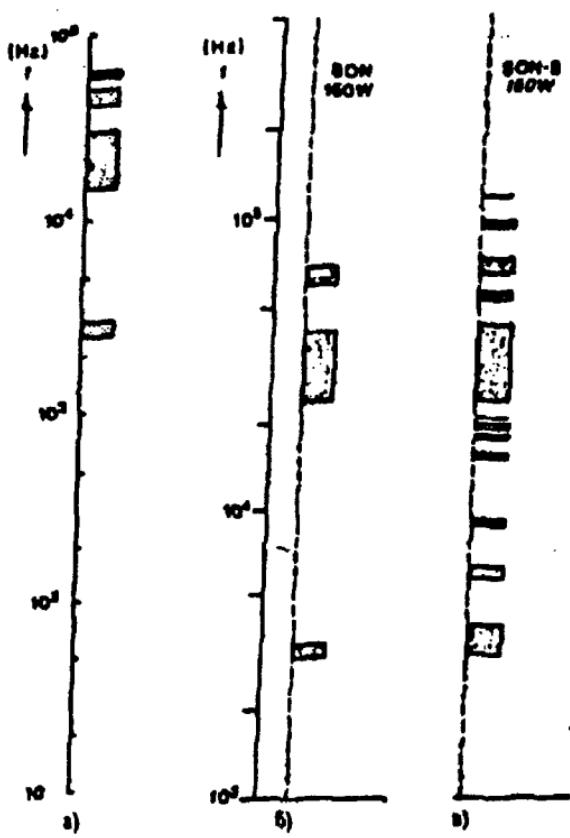


Рис. 1. Резонансные частоты натриевых ламп ВД мощностью 250 Вт (а) и мощностью 150 Вт с низким (б) и высоким (в) давлением ксенона

4. Препятствием для высокочастотного питания ламп ВД могут быть искажения разряда акустическими волнами. Явление стоячих волн давления (акустический резонанс) может приводить к искажениям разрядного канала. Частоты, на которых имеют место заметные искажения разрядного канала для 250-ваттной НЛВД показаны штриховкой на рис. 1, а [4]. При увеличении частоты спектр резонансных частот приближается к сплошному, в то время как на низких частотах пространства между ре-

зонансными частотами более широкие, что указывает на предпочтительность выбора рабочих частот ЭПРА для НЛВД в пределах 10 — 50 кГц.

Резонансные частоты взаимосвязаны с внутренними размерами разрядной трубки и скоростью звука в ней. Зависимость скорости звука от давления наполняющих газов приводит к зависимости резонансных частот от давления (рис. 1, б, в) [4]. Количество мод, наблюдаемых в лампах с одинаковой геометрией, но имеющих различное давление буферного газа, увеличивается при более высоких давлениях.

Генерация акустических волн на резонансных частотах будет иметь место, если управляющее воздействие достаточно велико, т. е. если подводимая к лампе мощность превышает некоторую пороговую величину. По нашим данным, для лампы ДНат-250 пороговая мощность составляет примерно половину ее nominalного значения.

Искривление разрядного канала вследствие акустического резонанса зачастую приводит к локальному перегреву стенок разрядной трубки и ее растрескиванию. Кроме того, акустическому резонансу сопутствуют такие нежелательные явления, как увеличение напряжения лампы (а значит и ее мощности) и нестабильность светового потока.

При проектировании ЭПРА для ЛВД нельзя забывать об этом. Рабочие частоты должны быть выбраны с учетом особенностей конкретного типа ламп (размеры разрядной трубки, давление буферного газа). Кроме того, в литературе указывается на возможность устранения нежелательных проявлений акустического резонанса с помощью построения ЭПРА на основе генераторов качающейся частоты [5]. Рядом ведущих фирм (Osram, General Electric) выпускаются НЛВД и МГЛ, специально предназначенные для работы в комплекте с ЭПРА (табл. 1).

Структурная схема ЭПРА для разрядных ламп показана на рис. 2.

**Входной фильтр** кроме подавления радиопомех, генерируемых ЭПРА, служит для сглаживания высокочастотных пульсаций потребляемого тока, возникающих при работе схемы активной

**Электронные ПРА для разрядных ламп высокого давления**

Фирма-производитель	Модель (тип лампы)	Входные параметры				Выходные параметры		
		$U_c$ , В	$P_{\text{погр}}$ , Вт	КМ	Световая отдача комплекта, лм/Вт	$P_{\text{л}}$ , Вт	Частота	Масса
WPI Electronics, Inc.	EM 90-120-SXX* (МЛ)	120 ± 10%	116	0,95	—	98 ± 3%	прямоугольное напряжение 60 Гц	1,9 lbs
	PT-TS 70/230Н (МЛ) HOI TS 70 или HJIBD NAV TS 70 SUPER)	230 ± 5%	82	>0,9	62	74	22,5 кГц	900 г
OSRAM	PT-DSX2 80/230-240 (НЛВД DSX 2 T80 или DSX 2 E80)	230 - 10% 240 + 6%	87	>0,97	69	77	20 кГц пакеты частотой 200 Гц	500 г
	PT 150/230-240 N-2 (НЛВД)	230 - 10% 240 + 6%	160	0,98	68	145	120 Гц	740 г
TRIDONIC	PCI 32 (МЛ) MXR 32W)	220 - 240 ± 10%	39	0,96(C)	—	32	30 кГц	1,1 кг
	PCS 95 (НЛВД Wite Lucalox 95W)	220 - 240	118	>0,96	—	95	300 Гц	1,9 кг

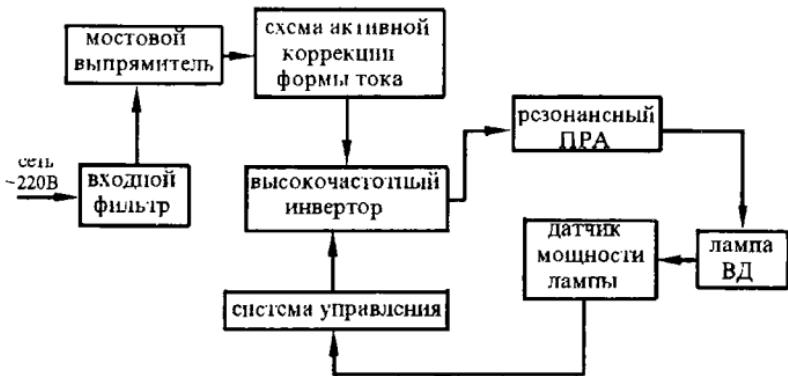


Рис. 2. Структурная схема электронного ПРА для ламп высокого давления

коррекции формы потребляемого тока.

Выпрямление напряжения сети происходит в **мостовом выпрямителе**.

**Схема активной коррекции формы** тока решает одну из актуальных задач силовой электроники — обеспечение электромагнитной совместимости ключевых преобразователей с бестрансформаторным входным выпрямителем и емкостным фильтром с питающей сетью. К классу таких устройств относятся и ЭПРА. Наличие выпрямителя с ёмкостным фильтром во входной цепи ЭПРА обуславливает низкий коэффициент мощности (КМ) (по данным работ [6, 7] КМ не превышает 0,5 — 0,7) и большой уровень высших гармоник потребляемого из сети тока.

Резкое увеличение количества ключевых источников вторичного электропитания (КИВЭП), расширение областей их применения (в том числе и работы по созданию ЭПРА) потребовало ужесточения требований по электромагнитной совместимости их с сетью. С 1 января 1992 г. вступил в действие в Европе новый стандарт МЭК 555.2, жестко ограничивающий уровни высших гармоник потребляемого из сети тока для всех однофазных преобразователей мощностью более 200 Вт.

В работах [6 — 9] описаны принципы построения устройств коррекции формы потребляемого тока:

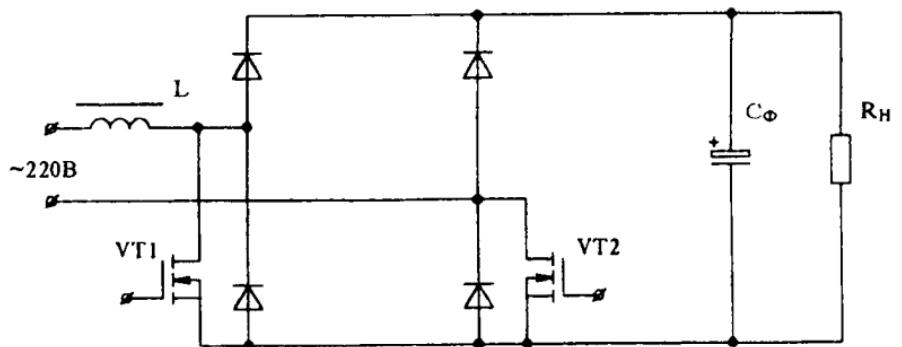
- пассивные LC-фильтры, недостатком которых являются плохие массогабаритные показатели;
- активное формирование синусоидального тока, совпадающего по фазе с питающим напряжением, что является наилучшим решением по электромагнитной совместимости КИ-ВЭП с сетью.

Анализ приведенных в литературе схем активной коррекции показывает, что наиболее подходящей для использования в составе ЭПРА для ламп ВД является схема повышающего преобразователя, приведенная на рис. 3, в, обладающая следующими достоинствами [7]:

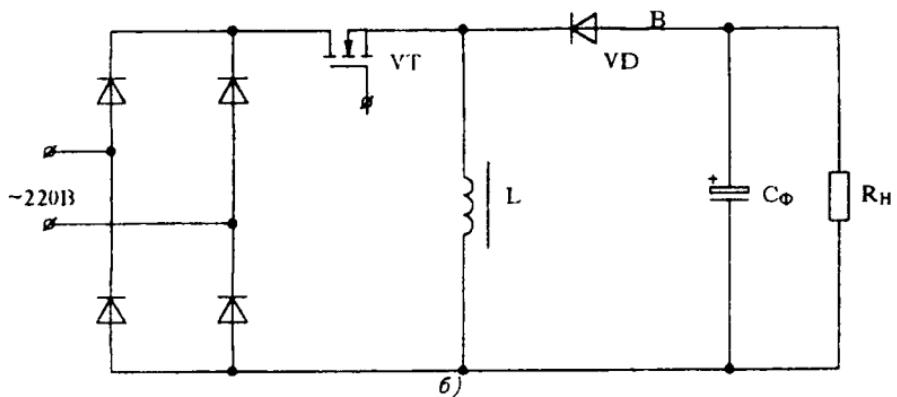
- силовой транзистор имеет соединение истока (эмиттера) с общим проводом, чем облегчается схема формирования сигнала управления;
- наличие реакторов в последовательной ветви обеспечивает фильтрацию высокочастотных составляющих и сводит задачу коррекции коэффициента мощности к формированию модуля синусоидального тока через реактор;
- максимальное напряжение на транзисторе равно выходному напряжению;
- импульсный ток через силовой транзистор имеет меньшие значения, чем в других схемах;
- схема может быть использована при мощностях до 2 кВт.

Для нормальной работы схемы необходимо, чтобы выходное напряжение превышало амплитудное значение сетевого напряжения (как правило, это 340 — 350 В). Работу в режиме пуска, спадов выходного напряжения и быстрый подзаряд емкости фильтра  $C_f$  обеспечивает диод  $VD2$ .

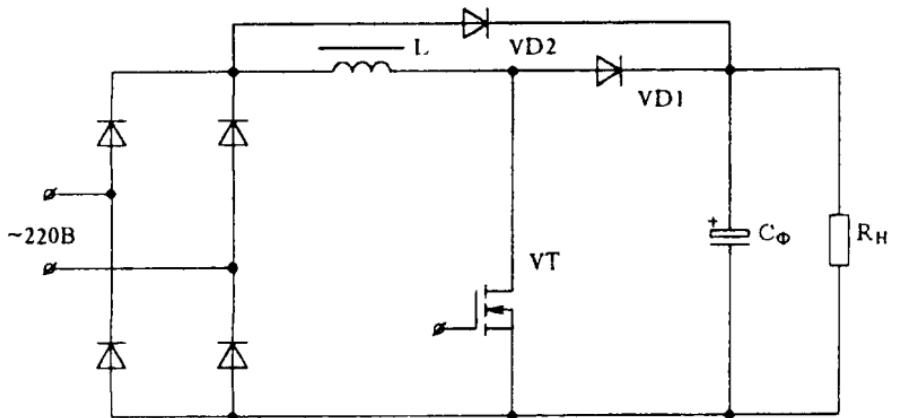
Законы управления силовым транзистором в схемах активной коррекции формы потребляемого тока достаточно сложны. Как правило, для этой цели используется следящая широтно-импульсная модуляция с постоянным или адаптивным гистерезисом. В качестве задания используется сигнал, пропорциональный напряжению сети. Ток, потребляемый схемой коррекции, сравнивается с заданием при помощи компаратора, который управляет силовым транзистором. В реальном случае



*a)*



*b)*



*c)*

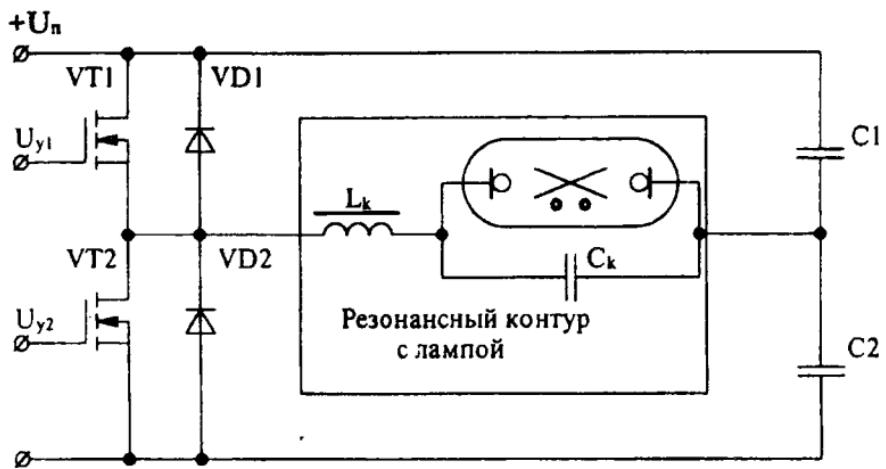
Рис. 3. Схемы преобразователей для активной коррекции формы потребляемого тока

сигнал задания является сложной функцией напряжения сети и выходного напряжения схемы, благодаря чему обеспечивается еще и стабилизация  $U_{\text{вых}}$  при входных и выходных возмущениях. Наличие стабилизирующей выходное напряжение обратной связи необходимо еще и для обеспечения работоспособности схемы корректора в режиме холостого хода (в противном случае, возникшие перенапряжения приведут к выходу элементов схемы из строя). Кроме того, в схему могут вводиться обратные связи, обеспечивающие работу дросселя в граничном режиме, защиту силового транзистора от токовых перегрузок и пр.

Ряд специализированных интегральных схем, выпускаемых зарубежной и отечественной промышленностью, позволяет относительно просто обеспечивать управление силовым транзистором схемы коррекции. Постоянство выходного напряжения при изменении напряжения сети в широких пределах будет благоприятно сказываться на стабильности работы и сроке службы ламп. Кроме того, отпадает и сама необходимость анализа влияния отклонений питающего напряжения на характеристики балластного контура с лампой, что упрощает проектирование ПРА.

**Высокочастотный инвертор.** Выбор схемы инвертора зависит от конкретного типа ЛВД. Так, например, для ртутно-кварцевой лампы ДРТ, имеющей невысокие значения напряжения зажигания и горения, использование традиционной (для ЛЛ) полумостовой схемы (рис. 4, а) является приемлемым [11] (рис. 5). Высокие напряжения зажигания МГЛ и НЛВД обуславливают преимущество мостовой схемы инвертора (рис. 4, б) с вдвое большим выходным напряжением. Требуемое напряжение холостого хода при этом можно получить при в 2,42 раза меньшем пусковом токе, что положительно скажется на надежности и экономичности ПРА. Кроме того, в пользу мостовой схемы для ламп средней и большой мощности говорит и рост напряжения на лампах в течение срока службы.

Фактором, до настоящего времени сдерживавшим разработку ЭПРА для ЛВД, являлось отсутствие подходящей для высокочастотного инвертора таких ПРА элементной базы. Появление



a)



б)

Рис. 4. Полумостовая (a) и мостовая (б) схемы инвертора напряжения

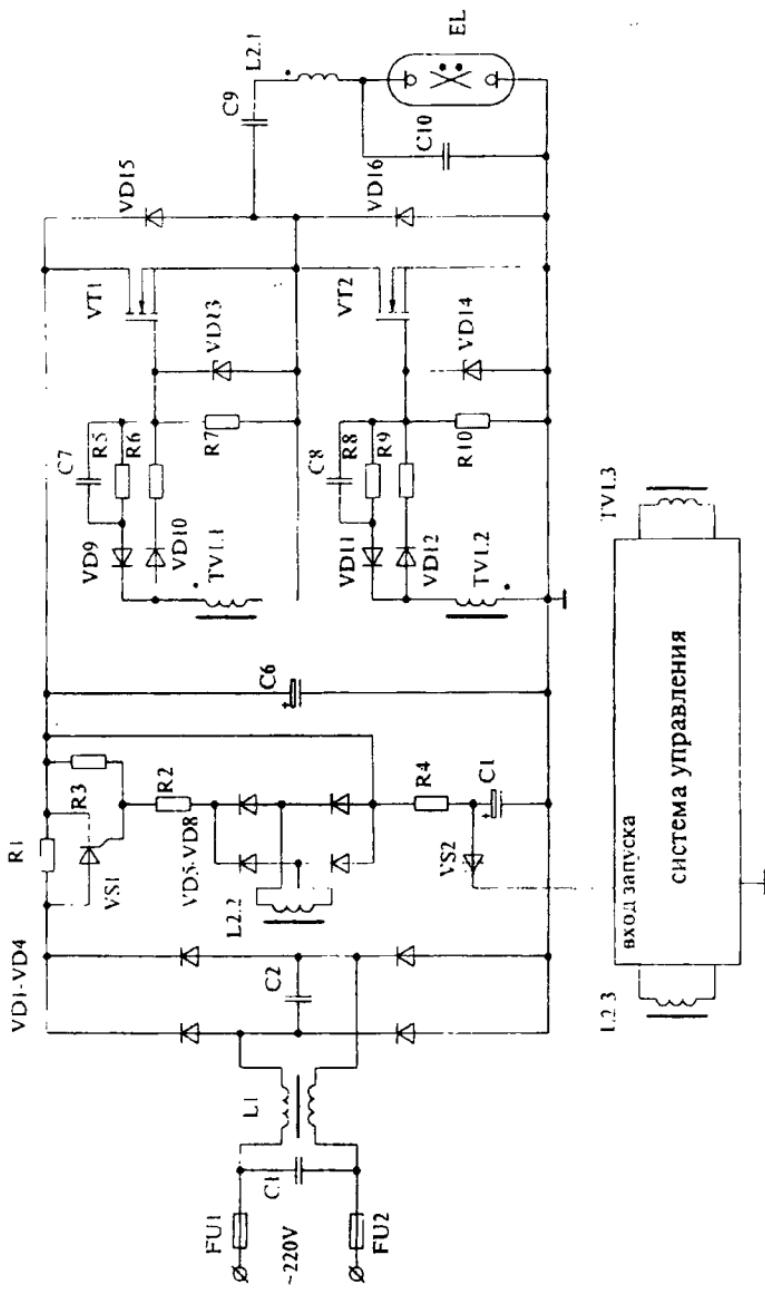


Рис. 5. Схема электронного ПРА для лампы ДРТ-230

на рынке силовой электроники мощных МДП- и IGBT-транзисторов и модулей на их основе [10] открывает широкие возможности для разработки простых, экономичных и надежных схем питания ЛВД средней и большой мощности.

Значительные мощности ЛВД делают особенно важным решение вопроса оптимального проектирования силовых ключей высокочастотного инвертора, так как от этого напрямую зависит экономичность и надежность комплекта “ЭПРА — ЛВД” в целом. Простые автоколебательные схемы, широко применяющиеся для питания ЛЛ, не позволяют оптимально сформировать сигналы управления силовыми транзисторами. Использование внешнего возбуждения решает эту задачу, но неизбежно приводит к некоторому усложнению схемы.

Система управления вырабатывает управляющие сигналы для высокочастотного инвертора. Рабочая частота схемы выбирается в пределах “окон”, свободных от акустических резонансов. Кроме того, на выбор рабочего диапазона частот накладывает ограничения элементная база высокочастотного инвертора (транзисторы, диоды) и материал магнитного сердечника балластного дросселя. Эти ограничения не позволяют при использовании для магнитопроводов ферритов широкого применения поднять рабочую частоту выше 50 — 60 кГц.

Реализовать обратные связи, ограничивающие мощность лампы на допустимом уровне, можно путем:

- частотной модуляции;
- широтно-импульсной модуляции;
- регулирования напряжения питания инвертора.

В случае использования частотной модуляции увеличение мощности лампы приводит к увеличению рабочей частоты ЭПРА, росту сопротивления индуктивного балласта и снижению мощности до заданного уровня.

Достоинством широтно-импульсной модуляции является постоянство рабочей частоты ЭПРА, что упрощает ее выбор в пределах свободных от акустических резонансов частотных “окон”, но в некоторой степени усложняет систему управления инвертором.

Регулирование напряжения питания инвертора можно осуществить введением в схему активной коррекции формы потребляемого тока дополнительной цепи обратной связи, но для обеспечения широкого диапазона регулирования элементы схемы ЭПРА должны работать при повышенных напряжениях (400–450 В).

Схема системы управления может предусматривать возможность регулирования светового потока ламп.

Весьма перспективным представляется использование для всех этих целей микроконтроллеров, что позволит управлять лампой по более сложным алгоритмам, учитывающим все многообразие реальных эксплуатационных условий.

В отдельную группу можно выделить ЭПРА, построенные по принципу совмещения в одном узле функций инвертора, создающего высокочастотное напряжение питания лампы, и функции активной коррекции формы потребляемого из сети тока. Подобные аппараты применяются для ламп небольшой мощности.

Для МГЛ мощностью 45 Вт с рабочим напряжением 50 В [12] фирма Philips изготавливает ЭПРА для сети 220 В, 50 Гц. Следует иметь в виду, что в данном ЭПРА через МГЛ проходит ток одного направления, поэтому оно может использоваться только со специальной лампой, устойчивой к явлению катодореза.

Анализ особенностей высокочастотного электропитания ЛВД, а также данных таблицы, позволяет выделить следующие основные достоинства ЭПРА:

1. Экономия материалов наиболее существенна для высокочастотных аппаратов с активной коррекцией формы потребляемого тока. Такие аппараты, в среднем, на 40 – 50 % легче электромагнитных для ламп тех же мощностей. ЭПРА с LC-фильтром во входной цепи преимуществ в массе не имеют.

2. ЭПРА позволяют решить вопросы стабильности работы ламп и пульсаций светового потока. Так, например, для НЛВД при увеличении частоты питающего напряжения с 50 Гц до 10 кГц пульсации светового потока уменьшаются с 20 до 1 % [4].

3. Срок службы ламп увеличивается, хотя объективную количественную оценку могут дать только ресурсные испытания в реальных эксплуатационных условиях.

4. Экономия электроэнергии имеет место, хотя и меньшая, чем при работе с ЛЛ, световая отдача которых существенно увеличивается при высокочастотном питании. Световая же отдача МГЛ возрастает слабо, натриевых ламп — остается практически неизменной, а снижение потребляемой мощности обусловлено в основном уменьшением потерь в ПРА и увеличением коэффициента мощности лампы. ЭПРА, работающие на частоте 20 — 30кГц, обладают, в среднем, на 50 — 55 % меньшими потерями по сравнению с электромагнитными аппаратами. Возможность регулирования светового потока — еще один резерв повышения экономичности светильников.

Недостаток ЭПРА — более высокая по сравнению с традиционной схемой стоимость — постепенно будет сглаживаться по мере снижения цен на элементную базу и их повышения на медь, электротехническую сталь и энергоносители.

## Список литературы

1. Миллс Э. Государственная политика и программы США в области энергоэффективного освещения// Светотехника. 1995. № 4 — 5. С. 10 — 15.
2. Емельянов Н.И., Шаборкин В.Г. Черткова И.И. Об отклонениях напряжения в осветительных сетях городов// Электричество. 1987. № 5. С. 55.
3. Вердеревская А.Н., Волкова Е.Б., Троицкий А.М. Особенности эксплуатации комплекта "Натриевая лампа высокого давления — пускорегулирующий аппарат"// Светотехника. 1989. № 11. С. 8 — 11.
4. J.J. de Groot, J.A.J.M. van Vliet. The high — pressure sodium lamp. Philips technical library, Kluwer Technische Boeken B.V. — Deventer, 1986.
5. Абрамова Л.В., Варфоломеев Л.П., Масляев С. И., Синицына Л.В. Преобразователь частоты для питания газоразрядных ламп высокого давления// Светотехника. 1990. № 1. С. 10 — 12.
6. Березин М.Ю., Ковалев Ю.И., Ремнев А.М. Методы улучшения коэффициента мощности электронного пускорегулирующего аппарата.// Светотехника. 1997. № 2. С. 6 — 8.
7. Флоренцев С. Н. Активная коррекция коэффициента мощности преобразователей с однофазным выпрямителем на входе//Электротехника. 1992. № 3. С. 28 — 32.

8. Готфрыд М. Методы уменьшения гармонического состава входного тока в полупроводниковых аппаратах для люминесцентных ламп.// Светотехника. 1989. № 2. С. 16 — 19.
9. Георгобиани С. А., Клыков М.Е., Краснопольский А.Е., Шахпарунянц А.Г. Методы обеспечения электромагнитной совместимости электронного пускорегулирующего аппарата с питающей сетью// Светотехника. 1993. № 5 — 6. С. 40 — 43.
10. Флоренцев С. Н., Ковалев Ф.И. Современная элементная база силовой электроники// Электротехника. 1996. № 4. С. 2 — 8.
11. Березин М.Ю., Ремнев А.М. Электронный пускорегулирующий аппарат для ртутной лампы высокого давления// Светотехника. 1998. № 1. С. 7 — 9.
12. Афаиасъева Е.И. Пускорегулирующая аппаратура и системы управления освещением// Светотехника. 1987. № 3. С. 23 — 27.
13. Osram. Katalog Lichtprogramm' 95/96.
14. Tridonic. Katalog 1994.

# **Системы автоматизированного управления освещением общественных зданий**

**А.Г. Фомин**

Расход электроэнергии на цели освещения может быть заметно снижен достижением оптимальной работы осветительной установки (ОУ) в каждый момент времени. Очевидно, что осуществить это возможно, только применяя электронные автоматические системы управления освещением (СУО). Автоматизированные СУО, предназначенные для использования в общественных зданиях, выполняют следующие типичные для этого вида изделий функции.

**Точное поддержание искусственной освещенности в помещении на заданном уровне.** Достигается это введением в СУО фотоэлемента, находящегося внутри помещения и контролирующего создаваемую ОУ освещенность. Уже только одна эта функция позволяет экономить энергию за счет отсечки так называемого "излишка освещенности". На практике это может выглядеть так: если заданная минимальная освещенность в помещении составляет, например, 500 лк, то сразу после установки новых ламп она может составлять 750 лк и более. "Излишек" в освещенности не создает дополнительных удобств пользователям освещения, однако на его создание затрачивается от 15 до 25 % электроэнергии. Следовательно, только уменьшением светового потока ламп в начале их срока службы можно достигнуть экономии электроэнергии до 25 %.

**Учет естественной освещенности в помещении.** Несмотря на наличие в подавляющем большинстве помещений естественного освещения (ЕО) в светлое время суток, мощность ОУ рассчитывается без его учета. Если поддерживать освещенность, созданную совместно ОУ и ЕО, на заданном уровне, то можно еще больше снизить мощность ОУ в каждый момент времени. В определенное время года и часы суток возможно даже ис-

пользование одного ЕО. Эта функция может осуществляться тем же фотоэлементом, что и в предыдущем случае, при условии, что он отслеживает полную (естественную + искусственную) освещенность. При этом экономия энергии может составлять 20 — 40 %.

**Учет времени суток и дня недели.** Дополнительная экономия энергии в освещении может быть достигнута отключением ОУ в определенные часы суток, а также в выходные и праздничные дни. Эта мера позволяет эффективно бороться с забывчивостью людей, не отключающих освещение на рабочих местах перед своим уходом. Для ее реализации СУО должна быть оборудована собственными часами реального времени.

**Учет присутствия людей в помещении.** При оборудовании СУО датчиком присутствия можно включать и отключать ОУ в зависимости от того, есть ли люди в данном помещении. Эта функция позволяет расходовать энергию наиболее оптимально, однако ее применение оправдано далеко не во всех помещениях. В отдельных случаях она может даже сокращать срок службы осветительного оборудования и производить неприятное впечатление при работе.

Получаемая за счет отключения ОУ по сигналам таймера и датчиков присутствия экономия электроэнергии составляет 10 — 25 %.

**Дистанционное беспроводное управление ОУ.** Хотя такая функция не является автоматизированной, она часто присутствует в автоматизированных СУО благодаря тому, что ее реализация на базе электроники СУО очень проста, а сама функция добавляет значительное удобство в управлении ОУ.

Методами непосредственного управления ОУ является дискретное включение/отключение всех или части светильников по командам управляющих сигналов, а также ступенчатое или плавное снижение мощности освещения в зависимости от этих же сигналов. Ввиду того, что современные регулируемые электронные ПРА имеют ненулевой нижний порог регулирования, в современных СУО применяется комбинация плавного регулирования вплоть до нижнего порога с полным отключением

ОУ при его достижении.

Системы автоматизированного управления ОУ серийно выпускаются за рубежом уже в течение 5 лет. За это время изменились как возможности непосредственно регулирующего оборудования (ПРА и т. д.), так и сами принципы построения и классификации систем. В настоящее время сложилась довольно четкая классификация и стандартизация СУО и их составных частей.

Существующий ассортимент автоматизированных СУО делится на три принципиальных класса:

1. СУО светильника — простейшая малогабаритная система, конструктивно являющаяся частью светильника и управляющая только им, либо одной группой нескольких близлежащих светильников;

2. СУО помещения — самостоятельная система, управляющая одной или несколькими группами светильников в одном или нескольких помещениях и находящаяся вблизи управляемой ОУ;

3. СУО здания — централизованная компьютеризированная система управления, охватывающая освещение и другие системы целого здания или группы зданий.

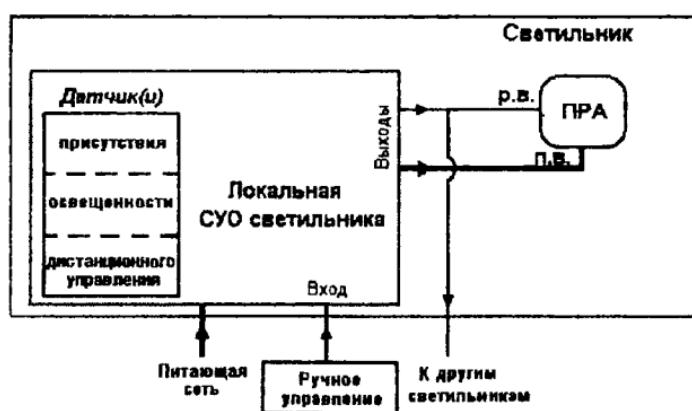


Рис. 1. Обобщенная принципиальная схема "СУО светильника":  
п.в. — питающие (силовые) входы ПРА, р.в. — регулирующие входы ПРА.  
В СУО отдельных типов часть элементов и функций может отсутствовать:  
питающие входы ПРА могут подключаться непосредственно к сети.

В данном выпуске будут рассмотрены получившие наибольшее распространение в зарубежной проектной практике, наиболее доступные современные "СУО светильников" и "СУО помещений".

Автоматизированный светильник, т. е. светильник в комплекте с СУО и датчиками, поставляется только компанией Thorn Orno Oy (Финляндия), модель Optus Sensa. Светильник работает с двумя компактными люминесцентными лампами мощностью 40 Вт, оснащен решеткой из матового алюминия и имеет размеры  $700 \times 256 \times 106$  мм. Встроенная в светильник СУО включает питание ламп, когда в радиусе 2,5 м от светильника появляется человек и отключает питание через 12 мин после выхода людей за пределы этого радиуса. Кроме этого, СУО автоматически плавно регулирует яркость ламп в светильнике в зависимости от интенсивности естественного света и вообще отключает лампы, если естественного света достаточно. Минимальная яркость включенных ламп светильника Optus Sensa равна 25 % максимальной. Возможная экономия энергии при использовании этого светильника может составлять около 60 %.

Большинство компаний-производителей СУО светильников изготавливают эти системы в виде отдельных блоков, которые могут быть встроены в светильники различных типов. Например, компания Philips Lighting (Нидерланды) предлагает две системы такого типа: Trios Luxsense и Trios Multisense. Первая из систем позволяет автоматически поддерживать освещенность в помещении на заданном уровне. Конструктивно Trios Luxsense представляет собой цилиндрический корпус размером  $19 \times 25$  мм с гибкими выводами, подключаемыми прямо к регулировочным входам электронных ПРА (до 20 ПРА на одну СУО). Для закрепления на колбе лампы диаметром 26 мм или на одной из пластин решетки светильника СУО комплектуется специальной скобой. Ожидаемая экономия энергии за счет системы Trios Luxsense ( $35 \pm 10$  %).

Система Trios Multisense, кроме отслеживания уровня естественного света также учитывает присутствие людей в помещении (включение светильника мощностью до 180 В·А при

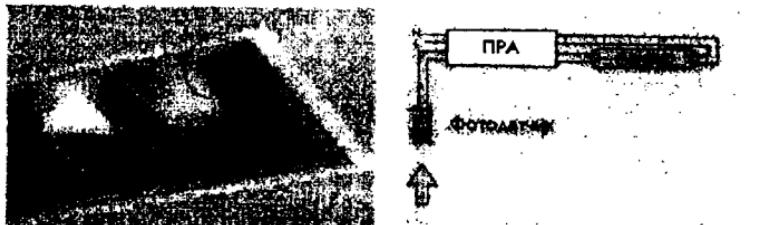


Рис. 2. Система ELS: размещение в светильнике с решеткой (слева), схема подключения к электронному ПРА (справа)

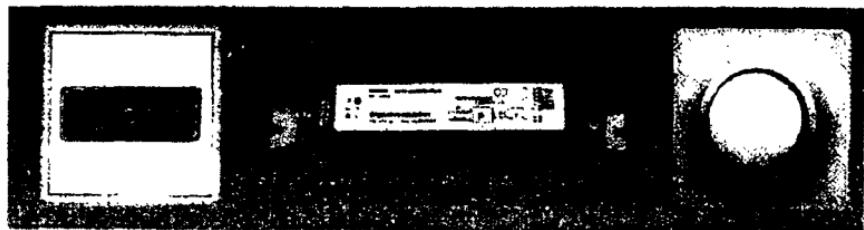


Рис. 3. Компоненты системы KSV-S (слева направо): стенной фотодатчик, блок электроники, потенциометр

входе человека в зону радиусом 3 м вокруг датчика) и работает с пультами дистанционного управления на ИК-лучах. Конструктивно система представляет собой датчик, закрепляемый на решетке светильника и электронный блок, внешне похожий на ПРА. Монтаж СУО предельно упрощен, так как присоединение шнура датчика к блоку выполняется с помощью стандартного разъема RJ-12 (так называемый телефонный разъем). Регулируемый выход допускает подключение до 60 электронных ПРА.

Компания ETAP GmbH (ФРГ) выпускает самую малогабаритную из существующих СУО — ELS. Система выполняет единственную функцию плавного регулирования потока ламп в светильнике в зависимости от естественного света, при этом не требуя внешнего электропитания. Управляющий выход в виде гибких выводов рассчитан на подключение к одному элек-

тронному ПРА. Система изготавляется в металлическом корпусе диаметром 13 и высотой 40 мм и крепится на колбе лампы диаметром 26 мм металлической пружинной скобой. Энергосбережение с системой ELS составляет от 30 до 70 %.

К СУО светильников также относится система KSV-S компании Altenburger Electronic GmbH (ФРГ). Выполненная в корпусе, аналогичном корпусу электронного ПРА, система сопрягает со входом ПРА выход стенного датчика освещенности (тип SLF/WD/DS, выпускаемый той же компанией) и потенциометра ручной регулировки (470 кОм). Один комплект KSV-S — фотодатчик позволяет управлять максимум 10 регулируемыми ПРА.

Независимость управления светильниками, являющаяся основной особенностью СУО светильников, может стать и недостатком ОУ. Это происходит, например, когда в большом помещении остается один работающий человек. При этом все светильники, кроме одного прямо над человеком, могут погаснуть, что создаст в помещении некомфортную обстановку. С учетом этого обстоятельства компанией Crompton Lighting (США) создана система Intellect/MLS, в которой информация от датчика движения используется не только светильником, в котором этот датчик установлен, но и ближайшими к нему светильниками. Сигналы между отдельными СУО светильников в этом случае передаются по специальной двухпроводной шине.

Безусловным преимуществом СУО светильников является простота их монтажа и эксплуатации, а также надежность. Особенно надежны СУО, не требующие электропитания, так как выходу из строя наиболее подвержены блоки питания СУО и энергопотребляющие микросхемы.

Однако если требуется управлять ОУ крупных помещений или, например, стоит задача индивидуального управления всеми светильниками в помещении, СУО светильников оказываются достаточно дорогим средством управления, так как требуют установки одной СУО на один светильник. В этом случае удобнее использовать СУО помещений, которые содержат меньше электронных компонентов, чем требуется в предыдущем случае, и поэтому более дешевы.

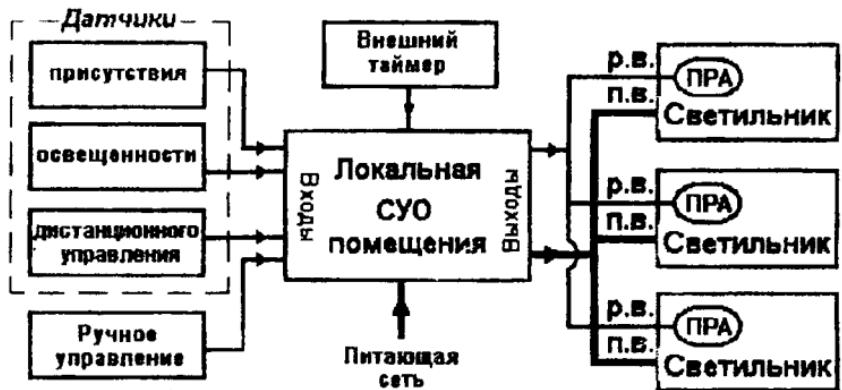


Рис. 4. Обобщенная принципиальная схема СУО помещения:

п.в. — питающие (силовые) входы ПРА, р.в. — регулирующие входы ПРА.  
В СУО отдельных типов часть элементов и функций может отсутствовать;  
питающие входы ПРА могут подключаться непосредственно к сети.

СУО помещений представляют собой блоки, размещаемые за подвесными потолками или конструктивно встраиваемые в электрические распределительные щиты. Системы этого типа, как правило, осуществляют одну функцию или фиксированный набор функций, выбор между которыми производится перестановкой переключателей на корпусе или выносном пульте управления системы. Подобные СУО относительно просты в изготовлении и обычно построены на дискретных логических микросхемах. Датчики СУО помещений всегда являются выносными, они должны быть размещены в помещении с управляемыми ОУ и к ним необходима специальная проводка, что представляет собой определенное практическое неудобство.

Системы управления освещением для отдельных помещений или небольших групп помещенийлагаются многими компаниями, что говорит о достаточно стабильном спросе на этот вид СУО.

Компания Servodan A/S (Дания) выпускает комплект из трех блоков, совместно образующих СУО помещения Luxstat. Первый из блоков (Luxstat Control) позволяет плавно регулировать от одной до трех групп светильников (в зависимости от модели-

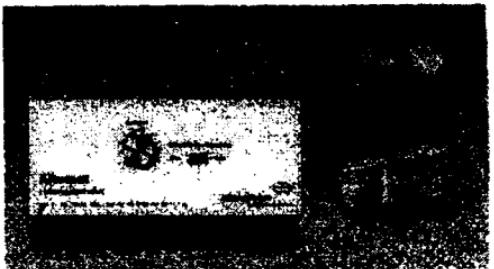


Рис. 5. Компоненты системы Altomat:  
блок электроники (слева), фотодатчик  
(справа вверху), датчик присутствия  
(справа внизу)

чески любого типа мощностью до 750 В·А. Для увеличения допустимой мощности нагрузки фирма предлагает блок Luxstat Extension, подключаемый в качестве нагрузки к блоку Luxstat Dimmer и увеличивающий мощность на 750 В·А/блок. Объявлено также, что передачу сигналов между блоками Luxstat Control и Luxstat Dimmer можно осуществлять через централизованную систему управления той же компании, основанную на персональном компьютере.

Конструктивно все блоки выполнены в виде электроустановочных приборов, рассчитанных на установку в распределительные шкафы стандарта DIN (DIN Rail).

В аналогичном корпусе выполнена СУО типа Altomat уже упоминавшейся компании Altenburger. Система управляет одной группой светильников по сигналам одного фотодатчика и одного датчика присутствия, выполненных в настенном исполнении. при необходимости уровень автоматически поддерживаемой освещенности может быть установлен потенциометром, а учет сигнала датчика присутствия отключен микровыключателем, находящимся на передней панели СУО.

Одной из известных марок СУО является серия систем Luxmate компании Zumtobel Licht GmbH (ФРГ). К автоматизированным СУО помещений среди них относится система Luxmate Daylight. В комплект этой СУО входит потолочный фотодатчик, предназначенный для измерения яркости окна в

фикации блока) по сигналам соответственно от одного до трех фотодатчиков. Luxstat Control позволяет управлять не более, чем 50 регулируемыми ПРА и 6 блоками Luxstat Dimmer, являющимися возможной частью системы.

Блок Luxstat Dimmer осуществляет регулирование мощности нагрузки практи-

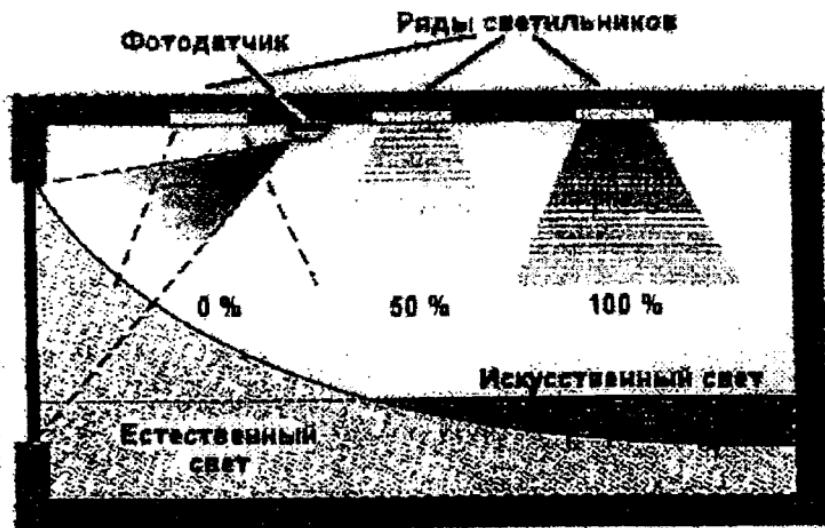


Рис. 6. Принцип энергосбережения в СУО Luxmate Daylight.

помещении, блок электроники и настенный пульт ручного управления, имеющий вид выключателя оригинального дизайна. Система раздельно управляет тремя рядами светильников (каждая по 100 регулируемых ПРА), расположенных параллельно окнам, в зависимости от естественного света. При этом в дневных условиях ближайший к окнам ряд светильников имеет минимальные выход светового потока и потребление энергии, а удаленный ряд — максимальные.

Принципиальной особенностью семейства СУО Luxmate является цифровой принцип построения управляющих цепей. Он заключается в том, что передача информации между частями СУО происходит только в цифровой форме при помощи интерфейсного протокола DSI (в отличие от большинства традиционных систем, где основным сигналом регулирования является аналоговое напряжение от 0 до 10 В постоянного тока). При этом передача управляющего сигнала в ПРА типа РС-А осуществляется в 8-битном коде по специальной двухпроводной

шине. Преимущества этого способа при использовании СУО помещения неясны, однако его применение вынуждает потребителя приобретать менее распространенные ПРА с цифровым управлением.

Дополнительной возможностью системы, поставляемой по специальному заказу, является управление освещением по сигналам таймера и датчика присутствия. По оценкам фирмы достигаемая при этом экономия равна 75 %. Блок электроники монтируется в шкафу стандарта DIN. Блок ручного управления содержит всего лишь две кнопки для увеличения и уменьшения потока светильников.

Компанией Lutron Electronics (США) выпускается многофункциональная СУО типа MicroWatt, основным предназначением которой объявлено достижение максимальной экономии осветительной электроэнергии. Система включает встроенный электронный таймер, который позволяет включать и отключать освещение в заданное время. Кроме этого, учитываются сигналы от одного фотодатчика, трех датчиков движения и пяти ручных потенциометров.

Система типа MicroWatt также оборудована так называемым "ограничителем верхнего значения светового потока". Эта функция позволяет установить максимальный поток ламп в пределах от 60 % до 100 % номинального. Только за счет этой функции можно сэкономить до 33 % электроэнергии.

Отличием данной СУО от аналогичных является выбор алгоритма реакции СУО на поступающие сигналы. Например, по сигналам датчиков присутствия и таймера можно не только полностью отключать, но и снижать до заданного значения световой поток ламп. Практически это дает возможность избежать ситуации "человек в темном помещении". Ручные органы управления позволяют человеку устанавливать желаемые уровни освещенности, которые сохраняются в течение 30 мин до передачи управления автоматике. Перед полным отключением освещение некоторое время мигает, давая возможность человеку воспользоваться ручным управлением. Несмотря на очевидную "дружественность" этой функции по отношению к пользователю,

неясно, как она сказывается на сроке службы ламп.

К дополнительным функциям СУО MicroWatt относятся полное включение освещения по сигналам внешних систем пожарной безопасности и снижение уровня освещенности в часы пиковой нагрузки электросети здания.

Система допускает подключение нагрузки, рассчитанной на напряжение от 120 до 277 В и ток до 16 А. Конструктивно СУО MicroWatt рассчитана на открытую установку на ответвительной коробке.

Частично уже описанное выше семейство СУО компании Philips включает в себя ряд модификаций СУО помещения Trios. Первая из них (LRC101X) по сути является несколько усложненным реле, управляющим освещением (одна группа до 5 А) по сигналам фотодатчика, датчика присутствия, ручных органов управления или ИК-дистанционного управления. Вторая (LRC102X) отличается от предыдущей тем, что кроме включения/отключения позволяет также плавно регулировать поток ламп в зависимости от уровня естественного света и по командам органов регулировки (подключение до 150 регулируемых ПРА). Реакция систем LRC101X/102X на сигналы датчиков задается в заводских условиях и не может быть изменена пользователем.

Система Trios LRC103X позволяет включать/отключать 7 групп светильников (до 5 А каждая) и регулировать 5 групп электронных ПРА, состоящих из 150 ПРА каждая. Соответственно увеличено количество возможных датчиков и расширен набор команд дистанционного управления. Алгоритмы работы системы вводятся в нее пользователем в зависимости от конкретных условий эксплуатации при помощи персонального компьютера (компанией поставляется программа настройки системы для компьютеров серии IBM PC).

Все СУО помещений семейства Trios автоматически определяют количество и тип подключенных датчиков и органов управления и сохраняют работоспособность при любом их сочетании. Для регулирования обычных ламп накаливания, рассчитанных на сетевое напряжение, и галогенных ламп со стандартными трансформаторами к системе может быть подключен

блок диммера LRD8000 (мощность нагрузки до 1 кВт). С учетом особенности электронных трансформаторов галогенных ламп (емкостный характер нагрузки) для регулирования этих потребителей компанией предлагается специальный блок диммера LRD8010 (мощность до 1 кВт).

Элементы СУО Trios изготавливаются в двух исполнениях. Первое (LRC1015/LRC1025/LRC1035) рассчитано на установку в электрических шкафах стандарта DIN. Второе исполнение (LRC1010/LRC1020/LRC1030) предназначено для использования при отсутствии специальных установочных рельсов. Корпус СУО в этом случае представляет собой металлическую коробку с фланцевым креплением к любой плоской поверхности (например, к стене за подвесным потолком). Очевидно, что этот вариант корпуса наиболее подходит для установки СУО прямо в освещаемом помещении, что позволяет сократить необходимую проводку. Блоки диммеров выпускаются только в исполнении для шкафов DIN (ширина 105 мм).

Компания Tridonic-Bauelemente GmbH (Австрия) разработала и предложила на рынке целый комплекс электронных блоков (включая регулируемые ПРА), образующих СУО типа Luxcontrol. Подобно системе Luxmate, данная система также является цифровой. Локальная СУО помещения образуется блоком DS1006, к которому подключается один фотодатчик, один или несколько (параллельно) датчиков движения с независимым электропитанием и один или несколько (также параллельно) двухкнопочных блоков управления.

Система DS1006 позволяет пользователю вручную задавать желаемую освещенность при каждой интенсивности естественного света. Для этого достаточно воспользоваться ручным управлением в момент работы автоматического регулирования потока ламп. На основании полученных таким образом данных СУО самостоятельно рассчитывает кривую зависимости интенсивности искусственного освещения от значения естественной освещенности.

Фотодатчик системы Luxcontrol, подобно тому, как это сделано в системе Luxmate, измеряет яркость окон, на основании чего

Таблица

## Сравнительные характеристики "СУО светильников" и "СУО помещений"

Тип СУО	Электро-питание	Кор-пус*1	Размеры, мм	Фотодатчик*1, количество	Датчик присутствия*1, количество	Датчик дистанционного управления*1, количество	Ручное проводное управление*2	Таймер*1	Плав-ное ре-гулиро-вание
Optus Sensa	+	B	—	B, 1	B, 1	—	—	Д	— +
Trios Luxsense	-	B	19×25	B, 1	—	—	—	—	+
Trios Multisense	+	B	159×40×28	H, 1	H, 1	—	—	—	
ELS	-	B	13×40	B, 1	—	—	—	—	
KSV-S	+	B	189×30×26	B, 1	—	—	—	—	
Luxstat	+	B	DIN 195*3	H, 3	—	—	—	—	
Altomat	+	B	DIN 195*3	H, 1	H, 1	H, 1	Д, П	—	+ +
Luxmate Daylight	+	B	н/д	H, 1	H, 1	H, 1	Д/П	—	+ +
Microwatt	+	H	100×100*3	H, 1	H, 3	—	5×П	В	+ +
Trios LRC101X	+	B/H	DIN 105*3/ 175×125×54	H, 1	H, 1	H, 1	П	—	-
Trios LRC102X	+	B/H	DIN 105*3/ 175×125×54	H, 1	H, 1	H, 1	Д, П	—	+ +
Trios LRC103X	+	B/H	DIN 105*3/ 175×125×54	H, 5	H, 7	H, 7	Д, П	—	+ +
Luxcontrol	+	H	234×40×28	H, 1	H, любое количество	—	Д, П	—	+ +

\*1 В — встроенное исполнение, Н — независимое исполнение;

\*2 Д — дискретное (выключатель), П — плавное (диммер);

н/д — нет данных

*Продолжение таблицы*

Тип СУО	Дискретное отключение	Количество и тип регулируемых выходов*	Максимальное количество регулируемых выходов ЭПРА	Количество коммутационных выключателей	Максимальная нагрузка выхода, В·А (А)	Работа с другими системами	Дополнительные сервисные возможности	Ожидаемая экономия ЭЭ, %
Optus Sensa	+	1, А	1	1	100	-	-	до 60
Trios Luxsense	-	1, А	20	-	-	-	-	$35 \pm 10$
Trios Multisense	+	1, А	60	1	180	-	-	н/д
ELS	-	1, А	1	-	-	-	-	$30 - 70$
KSV-S	-	1, А	10	-	-	-	-	н/д
Luxstat	-	3, А 3, С	50	3	750	-	-	н/д
Altonat	+	1, А	н/д	н/д	н/д	-	-	н/д
Luxmate Daylight	+	3, Ц	300	3	1000	-	-	до 75
Microwatt	+	1, А	н/д	1	(16)	+	+	от 33
Trios LRC101X	+	-	-	1	(5)	-	-	25
Trios LRC102X	+	1, А	150	1	(5)	-	-	н/д
Trios LRC103X	+	5, А (5, С)	150	7	(5)/1000 <sup>3</sup>	-	+	60
Luxcontrol	+	1, Ц	50	-	-	+	-	н/д

\*<sup>4</sup> Типы регулируемых выходов: А — аналоговые, 1 — 10 В постоянного тока, Ц — цифровые (интерфейс DSI), С — силовые с фазовым регулированием;

\*<sub>5</sub> Мощность одного регулируемого силового выхода

н/д — нет данных

система определяет значение естественной освещенности. Для исключения неустойчивой работы системы в момент, когда естественного света едва достаточно, в ее реакцию на сигналы датчика заложена задержка. При случайных колебаниях в наружной освещенности, например, при заходе солнца за тучи и т. д., регулирование светильников не происходит, если период такого изменения не превышает 10 с. Кроме этого, отключение ОУ производится, если светильники создают 1% максимальной освещенности, а включается ОУ, если требуемая освещенность от светильников составляет 10 %.

Освещение в помещении с управляемой ОУ включается по сигналам датчиков присутствия только в том случае, если естественного света недостаточно. Включения не происходит, если присутствующий в помещении намеренно отключил ОУ до срабатывания автоматики.

Использование системы DS1006 подразумевает наличие в ОУ ПРА с цифровым управлением (тип РС-А, см. выше). Конструктивно система DS1006 представляет собой блок для открытой установки (внешний вид аналогичен ПРА).

Как видно из приведенных данных, обобщенных в таблице, ассортимент локальных СУО достаточно широк и может удовлетворить большую часть потребностей автоматизации управления освещением отдельных помещений общественных зданий. Однако при значительных площадях зданий (более 5 – 8 тыс. м<sup>2</sup>) в зарубежной проектной практике преимущественно применяются централизованные СУО, охватывающие не только освещение, но и многие другие системы здания.

## Список литературы

1. Trios Luxsense optimises energy-efficiency// Philips Highlights. 1997. № 3.
2. Tridonic Vorschaltgeräte Katalog. Tridonic GMBH. 1995.
3. Вернер В. Интеллектуальная система управления внутренним освещением// Светотехника. 1993. № 4. С. 15 – 19.
4. Luxcontrol: The Fully Digital Lighting Control System. Tridonic Lighting Components. 1996.
5. Хайрих М. Возможности и тенденции экономии электроэнергии при применении электронных пускорегулирующих аппаратов и светорегулирующей системы Luxcontrol в осветительных установках// Светотехника. 1997. № 1.

C. 20 — 24.

6. **Wallbox** Lighting Control Catalog. Second edition. Lutron Electronics, Inc.,  
2/97

7. **ELS:** Ergonomisches Regelsystem fur energiesparende Beleuchtung. ETAP  
GmbH

8. **Kompakt-Lichtsteuerungen** in Leuchten. Einbau form fur EVG's mit  
Kleinspannung sansteuerung. Altenburger Electronic GmbH, 1997

9. **Altenburger-Lichtsteuerungen.** Kompakt und zuverlassig. Altenburger Electronic  
GmbH, 1997

10. **Thorn.** Licht mit Intelligenz. Thorn Licht GmbH.

11. **Das Licht** im Buro. Geplante Beleuchtung fur anspruchsvolle Arbeitplatze.  
Zumtobel Licht GmbH, 1997.

12. **Luxstat** Beleuchtungsregelung. Einfach, Effektiv und Energiesparend..  
Servodan A/S, 1997.

## Содержание

Предисловие . . . . .	3
Айзенберг Ю.Б., Рожкова Н.В. Энергосбережение в освещительных установках . . . . .	5
Петров В.И. Новые европейские нормы освещенности	27
Горнов В.О. Новые люминесцентные лампы — поколение 90-х годов . . . . .	43
Горнов В.О. Безэлектродные люминесцентные лампы	57
Горнов В.О., Григоренко М.Л. Новые типы люминесцентных ламп с увеличенным сроком службы . . . . .	71
Горнов В.О., Григоренко М.Л. Компактные люминесцентные лампы . . . . .	85
Погребной В.Ю. Современные натриевые лампы высокого давления . . . . .	155
Шлифер Э.Д. Безэлектродные СВЧ-газоразрядные лампы . . . . .	169
Варфоломеев Л.П. Светодиоды и их применение	195
Варфоломеев Л.П. Электронные пускорегулирующие аппараты для люминесцентных ламп . . . . .	207
Березин М.Ю., Троицкий А.М. Электронные пускорегулирующие аппараты для разрядных ламп высокого давления . . . . .	233
Фомин А.Г. Системы автоматизированного управления освещением общественных зданий . . . . .	249