Конструктивно-технологические решения светодиодных ламп прямой замены

С.И. ЛИШИК, А.А. ПАУТИНО, В.С., ПОСЕДЬКО, Ю.В. ТРОФИМОВ[1], *В.И. ЦВИРКО*

РНПУП «ЦСОТ НАН Беларуси» и УП «ЦКБ» НАН Беларуси, Минск, Республика Беларусь

Аннотация

Рассмотрен ряд конструктивно-технологических особенностей светодиодных ламп прямой замены (СД-ЛПЗ) традиционных ламп общего назначения. Проанализированы стандартные и перспективные способы отвода тепла, выделяемого светодиодами и ЭПРА, способы получения требуемого светораспределения, вопросы эффективного питания и расширения функциональных возможностей СД-ЛПЗ.

Ключевые слова: светодиодная лампа, лампа прямой замены, световая отдача.

1. Введение

Светодиодные лампы прямой замены (СД-ЛПЗ) – достаточно новые и перспективные светотехнические изделия [1] (рис. 1). В данной статье на основе анализа порядка 100 патентных документов рассмотрены некоторые типичные конструктивные решения по оптимизации теплового режима, получению требуемого светораспределения и расширению функциональных возможностей СД-ЛПЗ общего назначения.

СД-ЛПЗ могут изготавливаться с 5-мм СД, мощными СД и светодиодными *СОВ*-модулями [2] (рис. 2) [2–4]. Однако первые имеют декоративное назначение, как правило, не соответствуя по световому потоку заменяемым лампам общего назначения, и потому далее не рассматриваются.

2. Теплотехническая подсистема ламп

Как правило, СД-ЛПЗ содержат радиатор цилиндрической формы с поперечными или продольными радиально направленными рёбрами (рис. 3, *а* и *б*). При этом тепловое сопротивление радиатора определяется площадью его поверхности, которая примерно равна $2\times N\times h\times l$, где N, h и l – количество, высота и длина рёбер радиатора. Из-за того, что габариты СД-ЛПЗ не должны быть больше, чем у заменяемых ламп, возможности варьирования N, h и l ограничены. Поэтому для создания СД-ЛПЗ, полностью эквивалентных по характеристикам заменяемым лампам, необходимы улучшенные способы отвода тепла. Рассмотрим ниже некоторые из них.

В радиаторе по рис. 3, *в* расстояние между соседними рёбрами практически постоянно, а эффективная длина рёбер, а следовательно и поверхность радиатора, может в 1,3–1,4 раза (больше не стоит) превышать таковую в радиаторе по рис. 3, *б*, что соответственно увеличивает эффективность теплоотвода.

Другой способ отвода тепла в СД-ЛПЗ основан на использовании корпусных деталей с вентиляционными отверстиями (рис. 4). Воздух попадает внутрь корпуса лампы через входные вентиляционные отверстия, проходит вдоль рёбер радиатора и выходит через выходные вентиляционные отверстия. Прохождение воздуха через вентиляционные отверстия в корпусных изделиях происходит благодаря образованию воздушной тяги. Преимущество СД-ЛПЗ данного типа – в том, что корпусная деталь с вентиляционными отверстиями, в которую устанавливается радиатор, может быть пластмассовой, что повышает электробезопасность СД-ЛПЗ. Дополнительно можно использовать так называемые полуоткрытые вентиляционные отверстия (рис. 4, *б*), форма которых препятствует проникновению внутрь лампы, например, пальцев рук, отвёртки и т. п. К недостаткам СД-ЛПЗ с вентиляционными отверстиями относятся возможность загрязнения их внутреннего объёма пылью и зависимость воздушной тяги от ориентации ламп относительно поверхности земли.

При этом:

- недостатки СД-ЛПЗ по рис. 4, *а* – неразвитая теплорассеивающая поверхность радиатора и отсутствие разделения вентиляционных отверстий на входные и выходные (крайне малая воздушная тяга);
- в СД-ЛПЗ по рис. 4, *б* и *в* входные вентиляционные отверстия расположены вблизи цоколя, а выход-

[1] E-mail: trofimov@inel.bas-net.by

[2] Светодиодный *СОВ*-модуль – это матрица светодиодных кристаллов, непосредственно установленных на печатной плате (Chip-On-Board) и герметизированных оптически прозрачным компаундом.

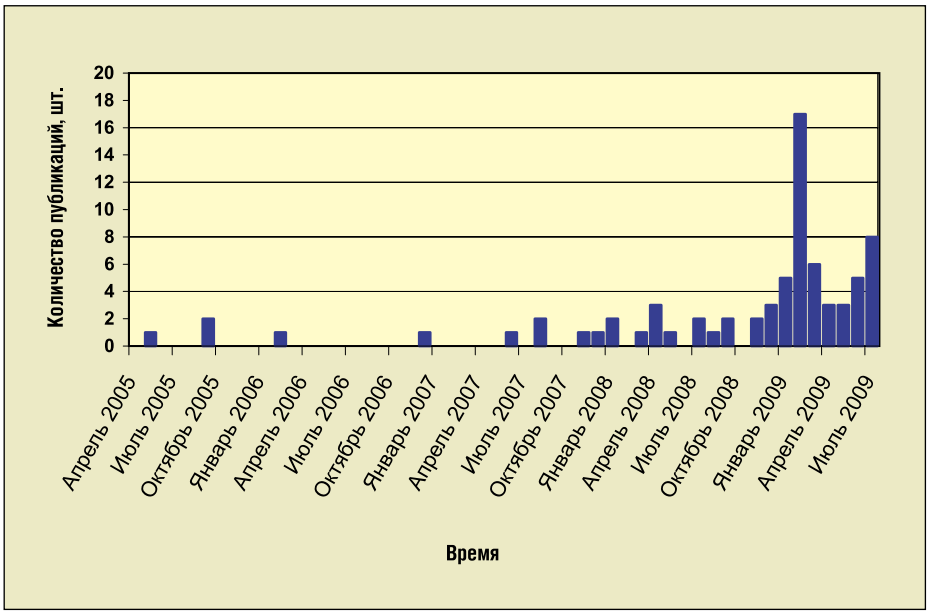


Рис. 1. Динамика публикаций патентных документов по светодиодным лампам прямой замены

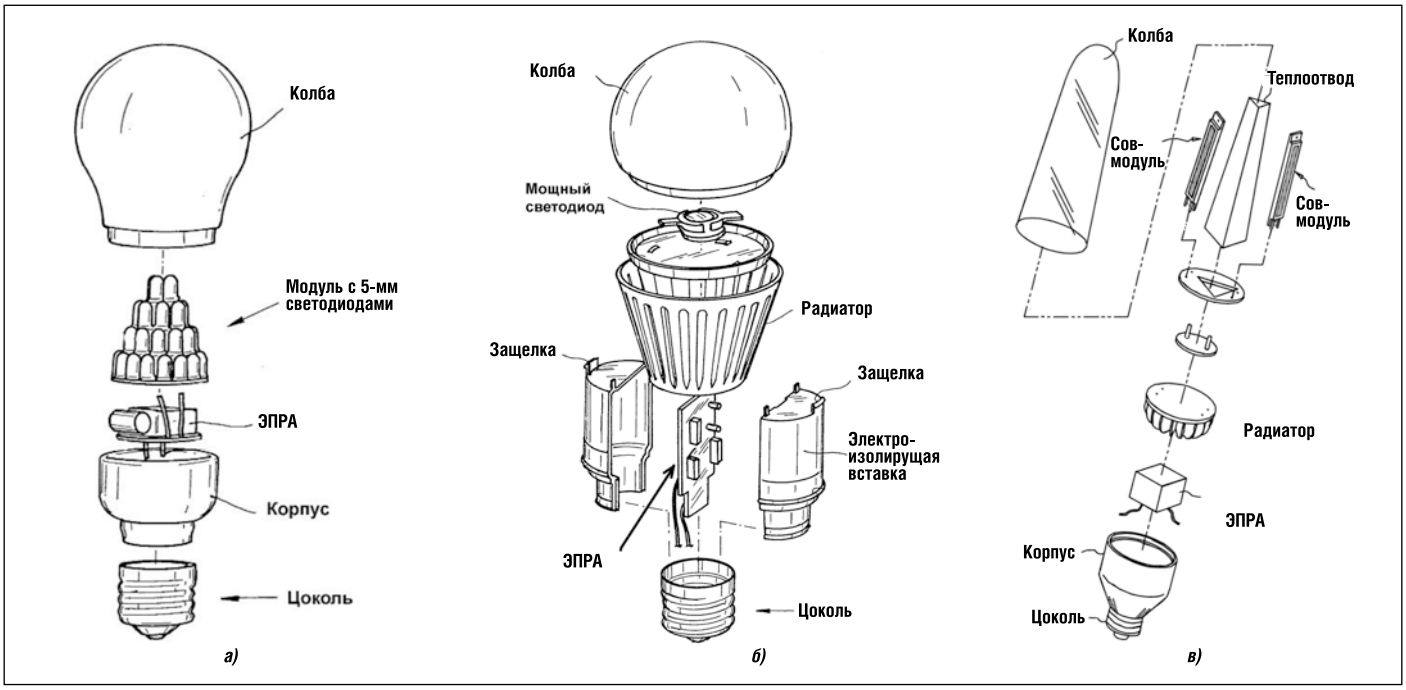


Рис. 2. Конструкции светодиодных ламп прямой замены:
а – со светодиодами диаметром 5 мм; б – с мощными светодиодами; в – со светодиодными СОВ-модулями

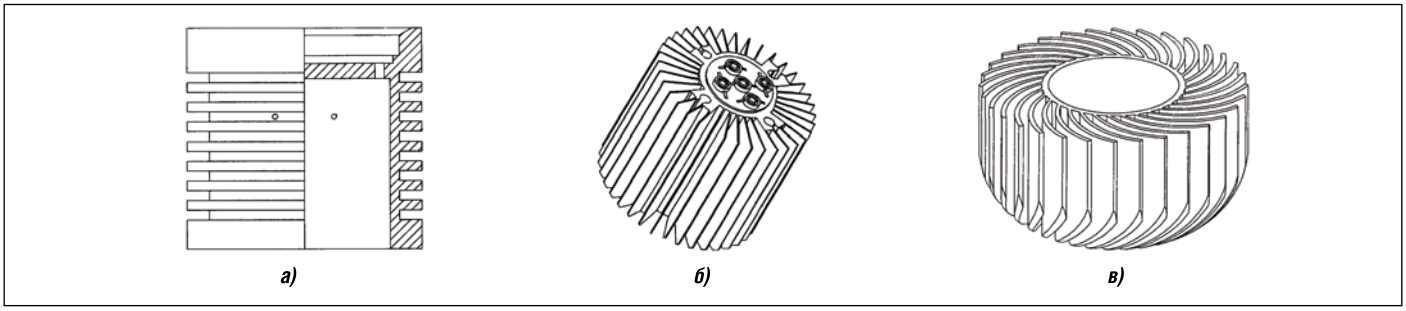


Рис. 3. Радиаторы для светодиодных ламп прямой замены:
а – с поперечными рёбрами [5]; б – с продольными радиально направленными рёбрами [6]; в – со спиралевидными рёбрами [7]

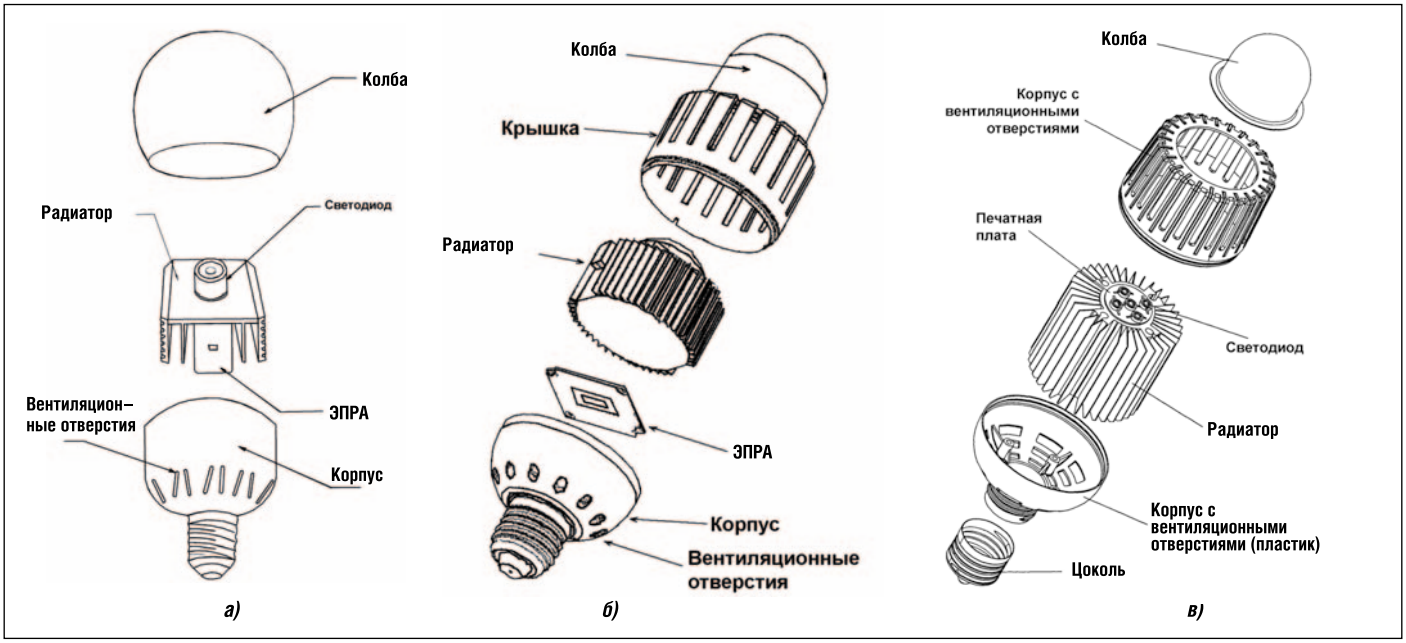


Рис. 4. Конструкции светодиодных ламп прямой замены с вентиляционными отверстиями:
а – [8]; б – [9]; в – [6]

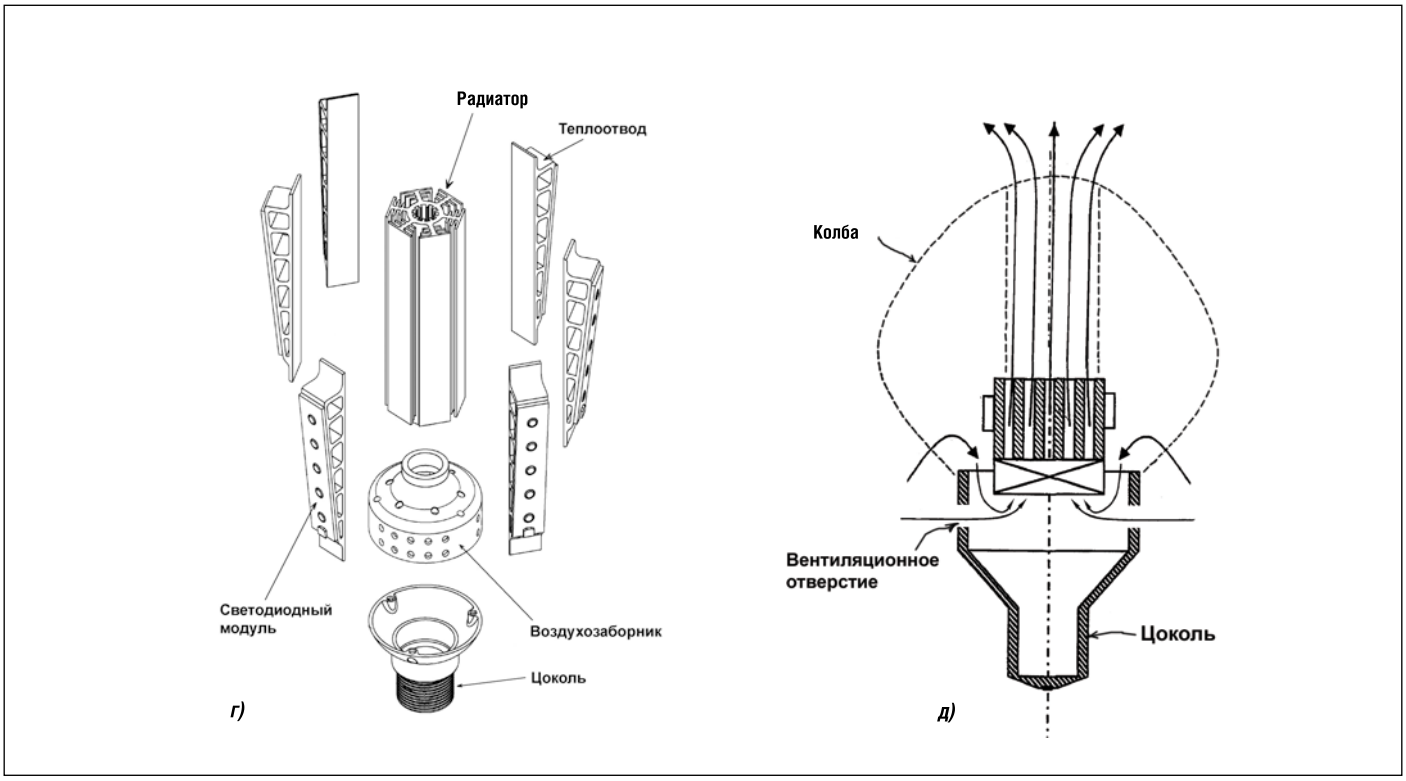


Рис. 4. Конструкции светодиодных ламп прямой замены с вентиляционными отверстиями: г – [10]; д – [11]

ные – вблизи колбы СД-ЛПЗ. Благодаря большому перепаду высот между входными и выходными вентиляционными отверстиями такие СД-ЛПЗ имеют довольно эффективную воздушную тягу;

• повышенные перепад высот и, соответственно, воздушная тяга присущи лампам по рис. 4, *г* и *д* , так как выходное вентиляционное отверстие в них расположено непосредственно наверху колбы;

• в конструкции СД-ЛПЗ по рис. 4, *г* для отвода тепла от СД по сути используются стыкуемые радиаторы двух типов[3].

Известны также способы отвода тепла с использованием колбы СД-ЛПЗ как радиатора. Примеры:

– колба СД-ЛПЗ выполняется из светопропускающей керамики (рис. 5, *а*) на основе микроскопических (15–30 мкм), субмикронных или наноразмерных зёрен сапфира (коэффициент теплопроводности 35 Вт/(м×К)), Al_2O_3 (30 Вт/(м×К)), MgO (59 Вт/ (м×К)), AlN (200 Вт/ (м×К)) и др.;

– внутренность колбы СД-ЛПЗ заполняют сыпучим или текучим материалом (рис. 5, *б*). Помимо улучшения теплового режима это позволяет снижать световые потери света подбором оптических материалов с близкими коэффициентами преломления.

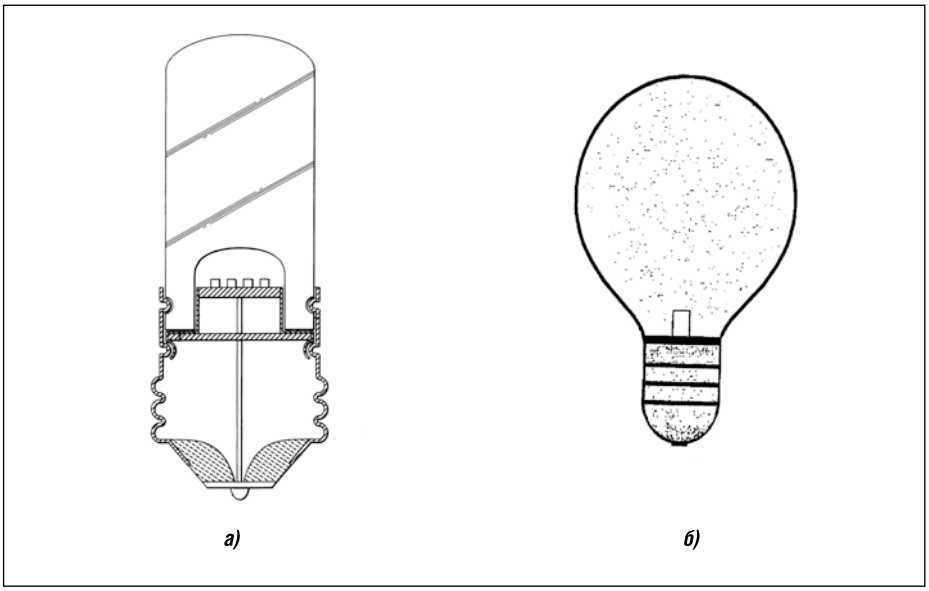


Рис. 5. Конструкции светодиодных ламп прямой замены: а – с колбой – радиатором [12]; б – с внутренней полостью колбы, заполненной теплопроводным оптически прозрачным материалом [13]

Кроме того, для отвода тепла могут использоваться тепловые трубки.

Указанные – пассивные – способы отвода тепла позволяют частично устранять такой недостаток СД-ЛПЗ с металлическими радиаторами как большие массогабаритные показатели.

Менее предпочтительны, на наш взгляд, активные способы охлаждения в СД-ЛПЗ: например, термоэлектрическое охлаждение, использование пьезо– и электровентиляторов и др.

[3] Не исключено, что вместо двух деталей оптимальнее была бы одна цельнолитая.

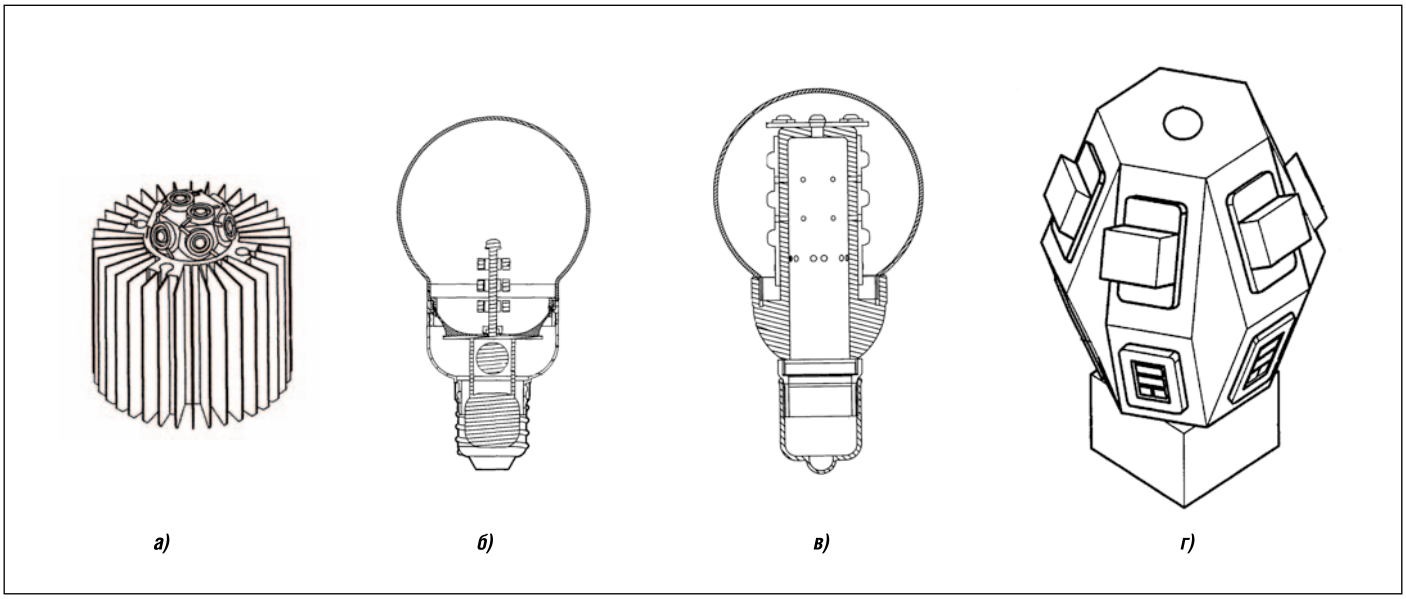


Рис. 6. Конструктивные способы получения требуемого светораспределения светодиодных ламп прямой замены: а – [6]; б – [6]; в – [14]; г – [15]; д – [16]

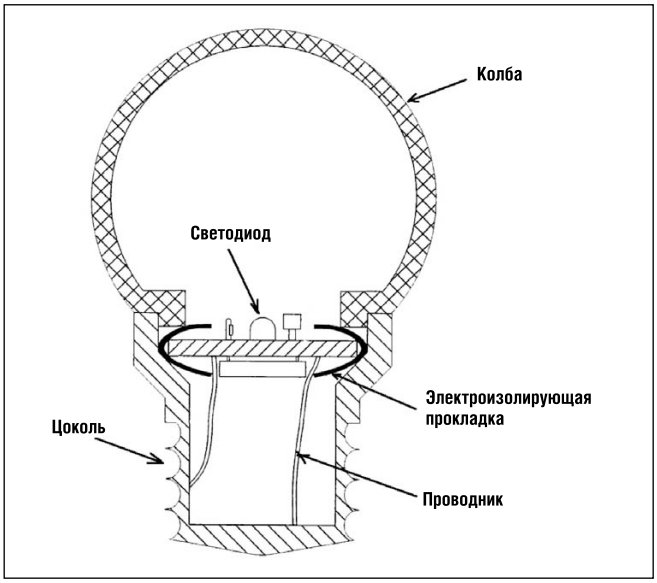


Рис. 7. Вариант обеспечения электрической изоляции в светодиодных лампах прямой замены [17]

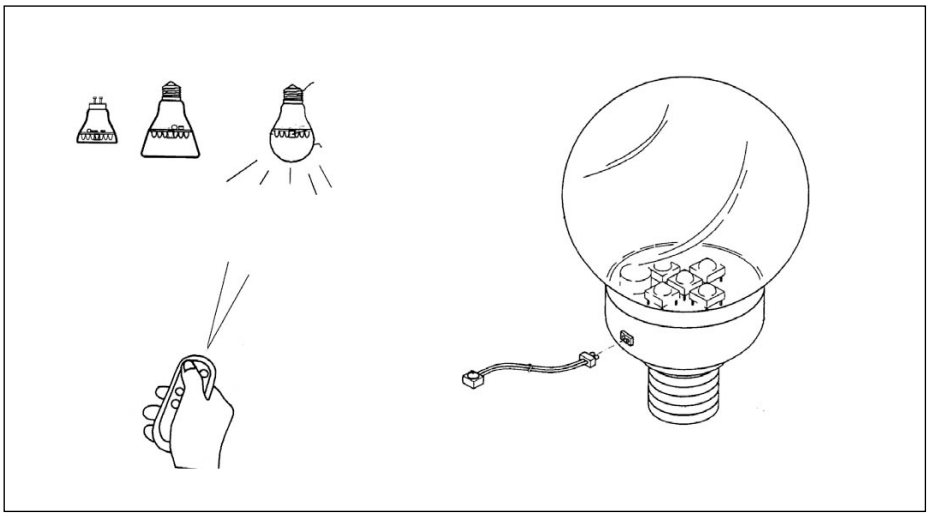


Рис. 8. Светодиодная лампа прямой замены с расширенными функциональными возможностями

3. Оптическая подсистема ламп

Основная функция пассивной оптической подсистемы СД-ЛПЗ заключается в формировании требуемого светораспределения при минимуме оптических потерь.

В настоящее время большинство выпускаемых СД-ЛПЗ не соответствуют по светораспределению лампам, для замены которых они предназначены. Как правило, СД в таких ЛПЗ находятся на торцевой поверхности цилиндрического радиатора (рис. 3 и 4, *а – в*) и потому излучают в основном в одну (нижнюю) полусферу. Для получения требуемого светораспределения, например, используют следующие решения:

- на грани специального теплоотводящего элемента устанавливают под различными углами друг к другу светодиодные модули (рис. 6). Это позволяет также увеличивать количество СД и, соответственно, световой поток СД-ЛПЗ по сравнению с вариантами с СД на небольшой торцевой поверхности. На наш взгляд, наиболее предпочтительная с точки зрения теплового дизайна конструкция СД-ЛПЗ представлена на рис. 6 *б*, так как теплоотводящий элемент и тепловой радиатор в данном случае представляют собой одну цельнолитую деталь;
- использование светодиодных *СОВ*-модулей (рис. 2, *в*);
- нанесение на внутреннюю или наружную поверхность колбы СД-

ЛПЗ или введение непосредственно в неё люминесцирующего вещества (рис. 5, *б*), например *Lumogen F Yellow 083*, *F Orange 240*, *F Red 300* или *F Violet 570* производства компании BASF. В результате его облучения голубыми СД получают яркое и равномерное свечение колбы СД-ЛПЗ (световая отдача может превышать 80 лм/Вт).

4. Электрическая подсистема ламп

Основными функциями электрической подсистемы (далее – ЭПРА) СД-ЛПЗ являются: эффективное AC – DC преобразование при включении в сеть переменного тока (110/220 В, 50/60 Гц) со стабилизированным выходом по току или напряжению, требуемым для питания СД в лампе, и, в ряде случаев, светорегулирование.

В зависимости от конструкции лампы ЭПРА может выполняться в виде модуля, помещаемого в полость радиатора, либо непосредственно на плате светодиодного модуля.

В основе простейших ЭПРА – диодный мостовой выпрямитель. У них небольшие габариты, но низкие КПД и коэффициент мощности. Более эффективные решения основаны на концепции импульсных источников питания. При этом для обеспечения соответствия требованиям электромагнитной совместимости ЭПРА, например, могут экранироваться с помощью добавления электропроводного оксида цинка в пластмассовые корпусные детали СД-ЛПЗ [9] (рис. 4, *б*).

Для обеспечения электроизоляции между цоколем и корпусом (радиатором) СД-ЛПЗ, например, применяют диэлектрическую вставку (рис. 2, *а* и *б*) или используют диэлектрическую прокладку, надеваемую на печатную плату с СД (рис. 7).

Далее, расширение функциональных возможностей СД-ЛПЗ значительно повышает их конкурентоспособность. На сегодня известны СД-ЛПЗ с функцией светорегулирования:

- в зависимости от уровня освещения (при помощи встроенного датчика освещённости);
- посредством дистанционного управления по беспроводному, в частности ИК (рис. 8, *слева*), или проводному (рис. 8, *справа*) каналам;
- по проводам сетевого питания, например, по протоколу DALI или включением/выключением питания СД-ЛПЗ требуемое количество раз.

Некоторые СД-ЛПЗ дополняются также индикаторами рабочего статуса лампы.

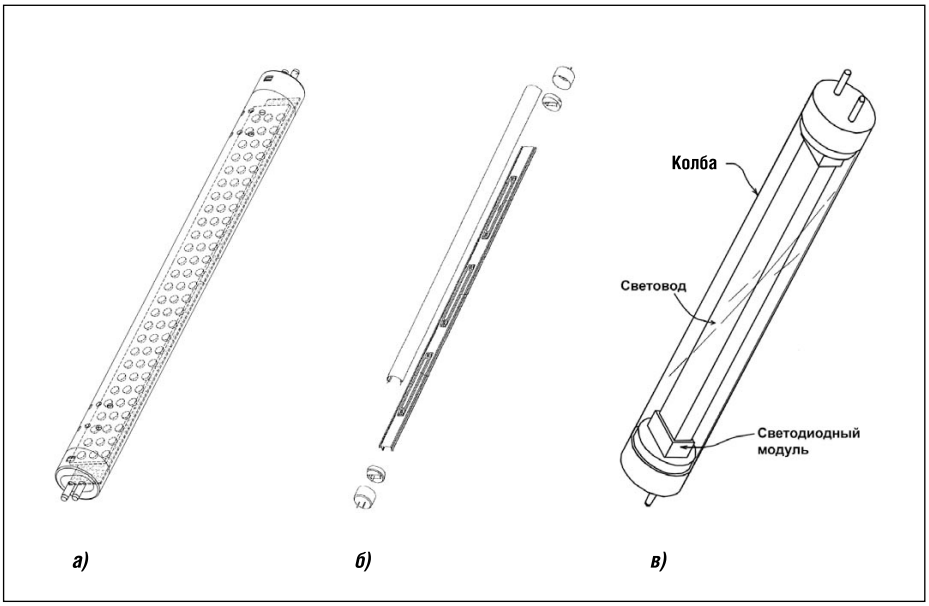


Рис. 9. Трубчатые светодиодные лампы прямой замены [18]:
а – с корпусированными светодиодами; б – со светодиодными COB-модулями; в – с торцевым вводом света в световод

5. Трубчатые конструкции ламп

По типу конструкции трубчатые СД-ЛПЗ можно разделять на лампы с корпусированными СД, светодиодными *COB*-модулями и световодами (рис. 9).

Для оптимизации теплового режима в трубчатых СД-ЛПЗ используются:

– печатная(ые) плата(ы) с металлической основой;

– корпус с большой площадью теплорассеивающей поверхности (рис. 10, *а*);

– корпус с вентиляционными отверстиями (рис. 10, *б*). (Следует отметить, что в большинстве случаев трубчатая СД-ЛПЗ эксплуатируется в горизонтальном положении, поэтому для эффективного рассеяния тепла вентиляционные отверстия должны быть сформированы на протяжении всего корпуса лампы, а не только вблизи её концов. Кроме того, недостатком конструкции с вентиляционными отверстиями является неизбежное засорение внутреннего объёма СД-ЛПЗ пылью, её последующее пригорание, и, как следствие, снижение эффективности рассеяния тепла);

– двухсекционные ЭПРА (рис. 10, *в*).

Для уменьшения слепящего действия могут использоваться светорассеивающие плёнки, специальные материалы и формы колб, световоды и некоторые др. решения.

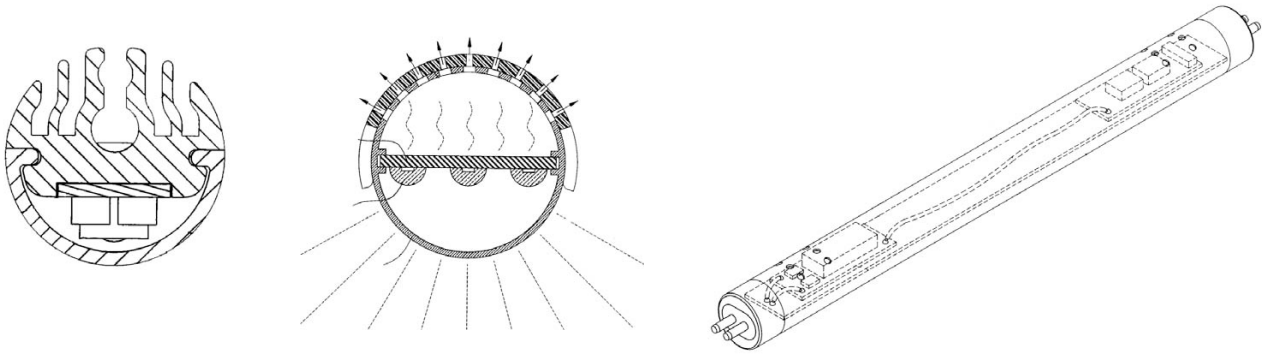
6. Заключение

Большое внимание разработчики СД-ЛПЗ уделяют оптимизации их теплового режима, что является «краеугольным камнем» развития всей светодиодной техники.

Использование радиаторов с большой площадью поверхности рёбер и корпусов с вентиляционными отверстиями позволяет решать задачу отвода тепла только в самых простых и маломощных СД-ЛПЗ. В остальных случаях требуются улучшенные способы, в частности, основанные на использовании в качестве дополнительного радиатора колбы СД-ЛПЗ.

На сегодня большинство выпускаемых СД-ЛПЗ по светораспределению не вполне соответствуют тем лампам, для замены которых предназначены.

Для успешного продвижения на рынок электрическая подсистема СД-ЛПЗ (то есть ЭПРА) должна характеризоваться не только высоким КПД, но и обеспечивать реализацию расширенных функциональных возможностей, включающих светорегулирование, индикацию рабочего статуса лампы и т. п.



а) б) в)

Рис. 10. Способы оптимизации теплового режима трубчатых светодиодных ламп прямой замены:
а – с радиатором с большой площадью теплорассеивающей поверхности; б – с вентиляционными каналами; в – с двухсекционным ЭПРА

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Лишик С.И., Паутино А.А., Поседько В.С., Трофимов Ю.В., Цвирко В.И.* О светодиодных лампах прямой замены // Светотехника. – 2010. – № 1. – С. 48–54.
2. *Stekelenburg, A.* LED bulb with an enlarged irradiation range by arranging led elements in three-dimension // Заявка 2077414 ЕПВ. 2009. Bul. 2009/28.
3. *Stekelenburg, A.* LED bulb with heat removal device // Заявка 2077414 ЕПВ. 2009. Bul. 2009/28.
4. *Liu Jeng-Fuh* Low power consumption high illumination LED lamp // Заявка 2009122552 США. 2009.
5. *Liming Hue* High-efficiency energy-saving LED bulb // Заявка 201196398 КНР. 2009.
6. *Banghong Fan* LED bulb // Заявка 201180971 КНР. 2009.
7. *Banghong Fan* LED lighting bulb // Заявка 201045474 КНР. 2008.
8. *Zhenwei Xie* LED circular illuminating lamp bulb // Заявка 201199020 КНР. 2009.
9. *Tsai Wen-Kuei, Liu Chia-Chi* Light emitting diode lamp // Заявка 2009048994 Японии. 2009.
10. *Zheng Shi-Song, He Li* LED lamp // Патент 7637636 США. 2009.
11. *Pabst, W., Straub, S.* Патент US2009059559. LED lamp // Заявка 2009059559 США. 2008.
12. *Meyer, W.* LED lamp with heat sink optic // Международная заявка 2009042042 PCT. 2009.
13. *Bohler, C., Kolodin, B.* Led-Based Light Bulb // Заявка 2007267976 США. 2007.
14. *Zhen Xu* LED illumination lamp // Заявка 201193791 КНР. 2009.
15. *Jiaming Lu, Sheng Yu* High power LED spherical lighting bulb // Заявка 201014278 КНР. 2008.
16. *Lee, G., Young, A.* Structure for LED lamp and method for forming the improved structure // Заявка 2009026982 США. 2009.
17. *Banghong Fan* High-voltage LED bulb // Заявка 201081190 КНР. 2008.
18. *Chou Hsen-Chung* Light source module // Патент 7503673 США. 2009.

Лишик Сергей Иванович, *кандидат техн. наук. В 1999 г. окончил физический факультет Белорусского государственного университета. Старший научный сортрудник РНПУП «ЦСОТ НАН Беларуси»*

Поседько Валерий Сергеевич, *кандидат техн. наук. В 1981 г. окончил факультет радиофизики и электроники Белорусского государственного университета. Ведущий научный сотрудник РНПУП «ЦСОТ НАН Беларуси»*

Цвирко Виталий Иванович, *инженер. В 2000 г. окончил факультет радиофизики и электроники Белорусского государственного университета. Научный сотрудник УП «ЦКБ» НАН Беларуси.*

Паутино Александр Александрович, *инженер. В 2004 г. окончил машиностроительный факультет Белорусского национальный технического университета. Научный сотрудник УП «ЦКБ» НАН Беларуси*

Трофимов Юрий Васильевич, *кандидат техн. наук. В 1972 г. окончил химический факультет Белорусского государственного университета. Директор РНПУП «ЦСОТ НАН Беларуси»*