

Современное состояние, тенденции и перспективы развития светодиодов для освещения

С.И. ЛИШИК¹, В.С. ПОСЕДЬКО¹, Ю.В. ТРОФИМОВ¹, В.И. ЦВИРКО²

¹ Государственное предприятие «ЦСОТ НАН Беларуси», Минск

² Испытательная лаборатория ГП «ЦСОТ НАН Беларуси», Минск

E-mail: sergey.lishik@gmail.com, nioledcenter@gmail.com, trofimo119@gmail.com, vitalii.tsvirko@gmail.com

Аннотация

Рассмотрено современное состояние исследований и разработок в области светодиодной элементной базы, светодиодных ламп прямой замены, уличных и промышленных светильников со светодиодами, облучательных устройств со светодиодами для тепличного растениеводства и др. Приведены примеры перспективных направлений внедрения светотехнических средств со светодиодами примеры перспективных направлений внедрения светотехнических средств со светодиодами светодиодной техники, таких как медицинская техника, УФ обеззараживание и мобильная техника. Сделаны выводы и прогнозы по дальнейшему развитию осветительного и облучательного оборудования со светодиодами.

Ключевые слова: светодиодная элементная база, энергоэффективность, светильники со светодиодами, светодиодные лампы прямой замены, светотехнические характеристики, тепличное растениеводство, перспективные направления.

К настоящему времени в мире накоплено большое количество статей, обзоров и монографий по тематике данной статьи, что существенно затрудняло выполнение поставленной задачи — выдать читателю достаточно новую и полезную информацию. В итоге авторы решили построить статью на базе данных, главным образом, собственных исследований и разработок. При этом материала накопилось предостаточно, так как начало наших исследований по светодиодной тематике датируется 1977 г. [1, 2].

Наш анализ современного уровня развития оборудования со светодиодами (СД) основан на результатах испытаний, выполненных в аккредитованной Испытательной

лаборатории ГП «ЦСОТ НАН Беларуси» (ИЛ), которая была создана в 2010 г. и аккредитована на ISO 17025 в 2012 г. (аттестат аккредитации № ВУ/11202.1.0.1714 от 13.08.2012). ИЛ укомплектована современным испытательным оборудованием и средствами измерений, опытным и обученным персоналом и специализируется на измерении светотехнических и теплофизических характеристик СД и изделий с СД: светильников, ламп, модулей, дисплеев, устройств заднего освещения, светосигнального оборудования, светофоров и индикаторов.

Объём работ, выполняемых ИЛ, постоянно растёт. Так, в 2015 г. протестировано около 300 светильников и 100 ламп, а за январь—ноябрь 2016 г. — 280 светильников и 80 ламп.

Значительная часть этих испытаний проводилась по заказу журнала «Lumen&ExpertUnion». Результаты этих испытаний находятся в открытом доступе на сайте журнала в рубрике «Проверено» [3] и использовались в проведении конкурса на Евразийскую светотехническую премию в 2015 г.

В 2016 г. в ИЛ по заказу журнала «Lumen&ExpertUnion» проводились также измерения теплофизических характеристик СП и ламп с помощью телевизионной камеры «Flir A325». С результатами испытаний можно ознакомиться на той же интернет-странице.

Учитывая, что в ряде случаев заказчики просят нас оценить и проанализировать технический и технологический уровни разработки и производства изделий с СД, у нас накопилась информация как по отдельным конструктивным узлам и технологическим операциям, так и по изделиям в целом.

Остановимся на некоторых моментах развития элементной базы. Известно, что световая отдача (η_v) СД в основном определяет и η_v светильника с СД в целом.

На рис. 1 представлен прогноз динамики роста η_v СД по данным [4] и соответствующая реальная картина [5, 6].

Следует также отметить, что приведённые данные по η_v в статьях и рекламных материалах до 2012 года соответствуют пониженным рабочим токам (1/3 номинального) и рабочей температуре (25 °С). В настоящее время для полного удовлетворения потребителей η_v СД, как правило, соответствует рабочим токам и температуре 85 °С.

Из рассмотрения приведённых графических зависимостей видно, что реальный уровень η_v белого СД превзошёл прогнозный на 2016 г. на 70 лм/Вт (47 %). Попытаемся выяс-

Рис. 1. Световая отдача светодиодов η_v — прогноз и реальность

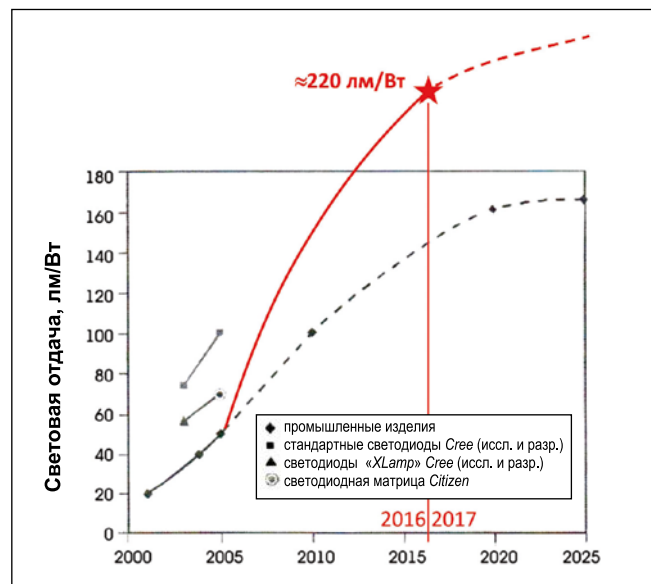


Рис. 2. Развитие технологии изготовления и корпусирования светодиодного кристалла

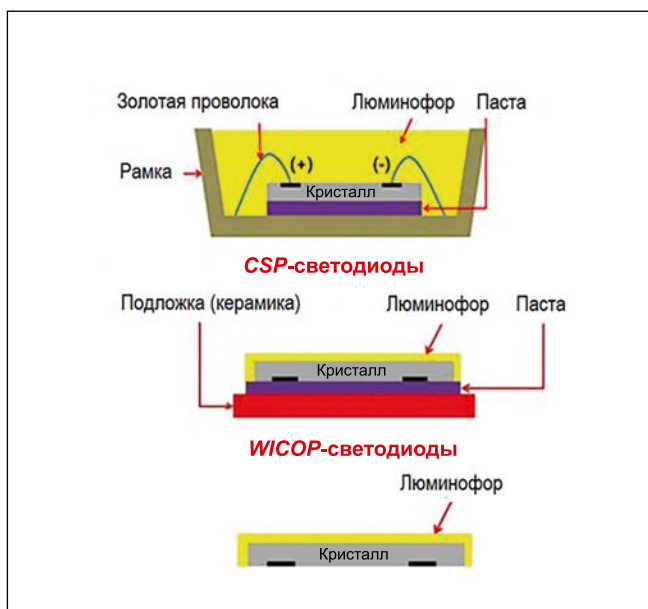
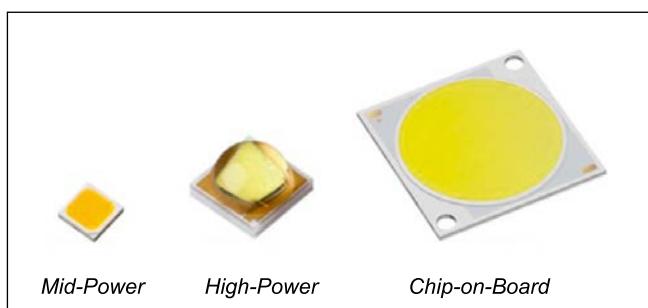


Рис. 3. Наиболее распространённые виды светодиодов



нить причину столь резкого роста этой η_r .

В начале 2000-х на мировом рынке сверхъярких белых СД общим объёмом в \$1,2 млрд для изготовления таких изделий с СД, как табло, вывески и ЖК-панели с задним освещением, использовалось 56 % от общего количества таких СД, причём востребованность их постоянно росла (доля сегмента общего освещения составляла всего 4 %) [7, 8]. Эта ситуация стала катализатором быстрого развития белых СД, служивших основной элементной базой для создания устройств заднего освещения. Задачи повышения энергоэффективности бытовой техники, качества изображения ЖК-телевизионных панелей и компьютерных мониторов решались, главным образом, путём повышения качества СД. Эти процессы продолжают и теперь.

Параллельно повышались требования к конструктивному исполнению СД и технологичности их использования при сборке ЖК-панелей. На рис. 2 показаны этапы развития SMD-СД: традиционные, CSP- и WICOP-/WICOP2-СД [9].

WICOP- и WICOP2-СД имеют следующие преимущества: минимизация размеров соответствующих светотехнических устройств (снижение их материалоёмкости и миниатюризация); улучшенный теплоотвод (уменьшение скорости деградации, повышение надёжности). А их недостатки — высокие требования к сборочному оборудованию (вакуумный манипулятор, точность позиционирования), а также к выбору материалов печатных плат и их плоскостности, приданию им отражающих свойств и подбору материалов с близкими значениями коэффициентов термического расширения. Не решены также все проблемы по герметичности (влаго- и газопроницаемости) таких СД, и по этой причине их можно отнести к СД «домашнего использования» (например, внутри корпуса ЖК-телевизоров), хотя попытки использования их в уличных светильниках уже начались.

Проведём далее оценку экономической и практической целесообразности выбора того или иного типа СД при создании уличного светильника. Возьмём наиболее распространённые типы СД, используемые для ре-

шения этой задачи и представленные на рис. 3, а также данные о том, сколько киллюменов светового потока можно приобрести за \$1 (клм/\$) при следующих параметрах СД: коррелированная цветовая температура $T_{кц} = 5000 \text{ K}$, общий индекс цветопередачи $R_a \geq 80$ и $\eta_r \geq 135 \text{ лм/Вт}$ при рабочей температуре $+85 \text{ }^\circ\text{C}$.

По нашим сведениям, при использовании СД *Mid-Power* (с корпусом 3030, мощностью порядка 1 Вт и стоимостью около \$0,06¹) при закупке их партий объёмом до 500 000 шт. на \$1 можно получить 2,25 клм светового потока. А при использовании СД *High-Power* (с корпусом 3535, мощностью порядка 2,1 Вт и стоимостью около \$0,45) при закупке их партий объёмом до 100 000 шт. или СД матриц *Chip-on-Board (COB)* (мощностью порядка 90 Вт и стоимостью около \$19) при закупке их партий объёмом до 200 шт. на \$1 можно получить 0,6 клм светового потока.

Известно, что тепловые свойства СД модуля определяют деградацию световых характеристик и надёжности светильника с СД в целом. При этом уровни суммарного теплового сопротивления массива СД, обеспечивающего световой поток в 12 клм (характерный для наиболее применяемых уличных светильников с СД), для СД *Mid-Power* и *High-Power* и для СД матриц *Chip-on-Board (COB)*, соответственно, равны 0,087, 0,095 и 0,14 К/Вт.

Анализируя вышеприведённые результаты, можно предположить, что по ценовому фактору и надёжности в ближайшие несколько лет мало мощные СД *Mid-Power* будут доминировать на рынке потребления СД элементной базы для создания уличных светильников с СД.

Далее рассмотрим состояние разработки и внедрения уличных и промышленных светильников с учётом результатов измерений их образцов в ИЛ ГП «ЦСОТ НАН Беларуси». В течение 2015 г. на исследовательские испытания были представлены 21 уличный светильник и 55 промышленных светильников с СД, а в 2016 г. — 40 и 46 шт. соответственно. Все исследованные образцы

¹ Цены приведены ориентировочно для СД ведущих брендов, доступных на рынке Таможенного союза, по состоянию на III кв. 2016 г.

являлись последними разработками известных компаний, присутствующими на рынке Таможенного союза.

На рис. 4 представлена совокупность значений η_v и светового потока исследованных образцов и их средневзвешенное значение.

Отметим, что лучшие результаты по η_v уличных светильников с СД, лежащие вблизи 145 лм/Вт, и усреднённые значения η_v за 2015 и 2016 гг. не изменились, но усреднённые значения η_v промышленных светильников с СД существенно возросли – с 90 до 114 лм/Вт.

Данная ситуация объяснима следующим образом. В 2015 г. в тендерных заданиях на закупку оборудования с СД жёстко закрепилось как минимум 5-летнее значение гарантийного срока. Кроме того резко увеличилось количество светильников, не соответствовавших требованиям к гарантийному сроку (не менее 3 лет), главным образом, из-за отказов устройств управления («драйверов») и отсутствия должной герметичности светооптических частей. Острота проблемы такова, что многие компании близки к банкротству.

Приходится констатировать, что в настоящее время основные проблемы деградации СД и СД-модулей вызываются не только электрическими и тепловыми явлениями, но и химическими и электрохимическими процессами, связанными с взаимодействием компонентов оборудования с СД, находящегося в атмосферных условиях города и дорожной сети, с соответствующими агрессивными газами (HCl , CO_2 , SO_2 и др.), влагой и солевыми парами и растворами.

В то же время открылась ниша промышленных светильников, эксплуатируемых в помещениях, что существенно снижает требования к герметичности этих приборов из-за отсутствия агрессивных факторов окружающей среды.

На основании анализа полученных данных мы предполагаем, что целевые показатели развития уличных светильников с СД, например, мощностью 100 Вт к 2020 г. достигнут следующих значений: усреднённое значение световой отдачи – 180 лм/Вт, масса – не более 5 кг, гарантийный срок эксплуатации – 8 лет. Кроме того, светильники должны обладать следующим набором возможностей: смарт-функции (дистанционное и ав-

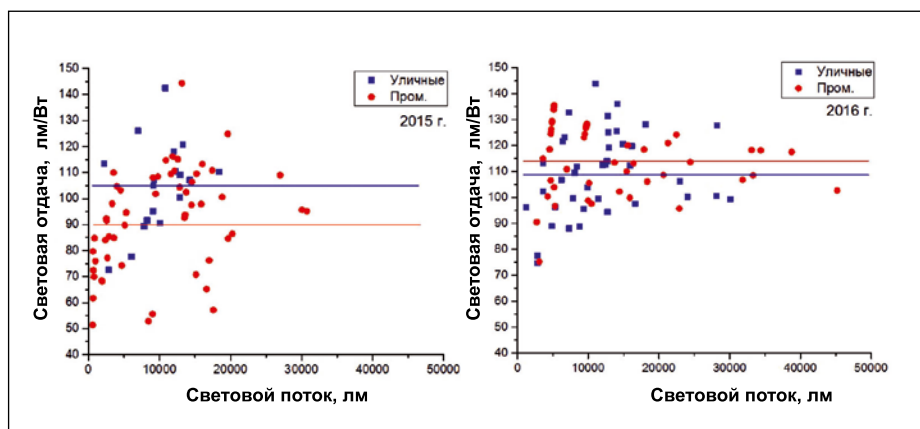


Рис. 4. Значения световой отдачи и светового потока исследованных образцов светильников со светодиодами



Рис. 5. В национальном парке «Цианьфощан», г. Цзинань, Китай



Рис. 6. Основные компоненты светодиодной лампы прямой замены

томатическое управление), терморегулирование, самоочищающаяся поверхность корпуса.

Рассмотрим теперь ситуацию, сложившуюся с СД лампами прямой замены (ЛПЗ). В национальном парке «Цианьфощан» в Китае торгуют

СД ЛПЗ, которые лежат на «прилавках» россыпью без упаковки и этикеток, а транспортируются и хранятся в мешках (рис. 5). Судя по картонным ценникам, это лампы мощностью от 3 до 12 Вт, причём стоимость 12-ваттной лампочки – около \$0,30.

			
Лампа накаливания	Компактная люминесцентная лампа	Светодиодная лампа прямой замены	Светодиодная нитевидная лампа
60 Вт	14 Вт	12,5 Вт	12,5 Вт
800 лм	800 лм	800 лм	800 лм
1 200 ч	10 000 ч	25 000 ч	?

Рис. 7. Ламповые источники света



Рис. 8. Исследованные образцы нитевидных ламп

О чём это говорит и чего надо бояться? При определённых условиях такая продукция может появляться прилично упакованной под любым брендом на наших прилавках. Это — некое «дно». К счастью, в Китае присутствует и совершенно другая по качеству продукция с СД.

Коснёмся подробнее состояния разработок СД ЛПЗ. В настоящее время сформировалось в основном два подхода, используемых в создании этой продукции:

- традиционный способ компоновки, когда по внешнему виду лампа близка к обычной ЛН, а основные компоненты расположены как бы слоями, что существенно облегчает автоматизацию сборочных процессов (рис. 6) [10, 11];

- 2) исполнение в виде аналога обычной ЛН путём замены вольфрамовых нитей на многоэлементные линейные излучатели (филаменты) [12].

Для анализа ситуации воспользуемся рейтинговой информацией по

10 лучшим представителям обычных СД ЛПЗ [13, 14] и управляемых смарт-ламп, представленной на сайте [15]. Информация на сайтах [13–15] актуальна с точки зрения техники и экономических показателей. Так, сайт [13] содержит более 2000 подробных протоколов исследований СД ЛПЗ, а на сайте [15] приводятся ценовые показатели СД ламп, продаваемых через торговую сеть *Amazon*, что позволяет оценить соотношение цена/качество представленных источников света. Отметим, что определённые преимущества в данной категории имеет, несмотря на высокую стоимость (\$159,9), продукция *Philips «Hue Connected Bulb»*, поставляемая в виде комплектов из 3-х управляемых СД ЛПЗ, дополнительно укомплектованных пультом управления.

Более подробно коснёмся подхода 2, т.е. светодиодных нитевидных ламп (иногда называемых «филаментными» от англ. *«filament»*). Приведём известные ламповые источники света к одному световому потоку в 800 лм (лампы с таким световым потоком чаще всего используются в быту). Как видим (рис. 7), представленные лампы существенно отличаются по потребляемой мощности и сроку службы. СД лампы разного вида одинаковы по энергоэффективности, но различны по сроку службы. При этом:

- Прототип нитевидной лампы был впервые создан в 2008 г. японской компанией *Ushio Lighting*. В 2011 г. лампа производства *Panasonic* завоевала премию «*Good Design Gold Award*» [16]. Массовое распространение эти лампы получили с 2012–2013 г., и с тех пор их рыночная доля постепенно растёт. Результаты испытаний нитевидных ламп по сравнению с контрольными лампами представлены в таблице.

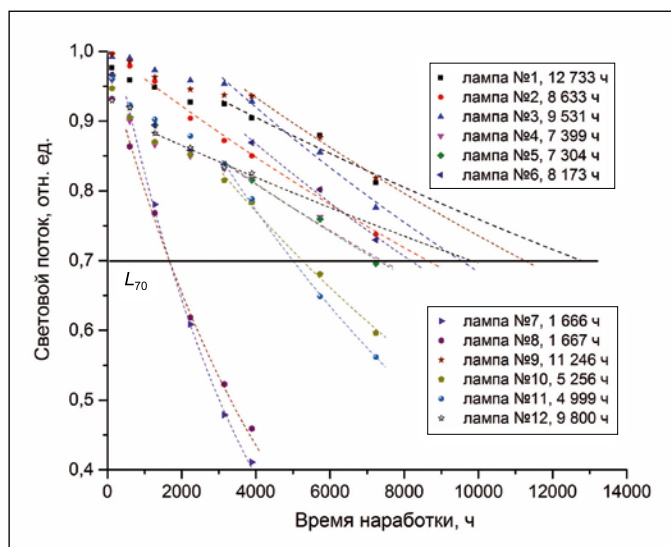
- Измеряемые образцы нитевидных ламп приобретались в розничной торговой сети Таможенного союза, и их внешний вид приведён на рис. 8.

- Заявленные производителем светотехнические характеристики светодиодных нитевидных ламп в большинстве случаев значительно отличаются от полученных в ходе измерений. В частности, измеренное значение потребляемой мощности оказалось в среднем на 15 %, а измеренное значение светового потока — на 18 % ниже заявленного значения. Подобные результаты одно-

начно свидетельствуют об ущемлении прав потребителей и требуют мер реагирования со стороны органов государственной власти.

Приведём также результаты испытаний ламп, согласно таблице, на динамику спада светового потока (рис. 9). При этом срок службы образцов ламп оценивался по методике IES TM-21-11 «*Projecting Long Term Lumen Maintenance of LED Light Sources*» – по уровню снижения светового потока до 70 % от первоначального. Для расчётов принимались данные последних 3000–4000 ч наработки, поскольку они дают наиболее достоверную оценку срока службы по данной методике. Общее время наработки большинства образцов составило 7239 ч. Для четырёх образцов ламп спад светового потока превысил 30 % за время наработки менее 6000 ч. Лампы №№ 7 и 8 были сняты с испытаний после 4000 ч, поскольку деградировали по световому потоку более чем на 50 %. Лампа № 12 вышла из строя после 5352 ч работы, поэтому оценка её срока службы, на наш взгляд, получилась завышенной, так как для расчёта брался более ранний период наработки. Значения срока службы испытанных образцов ламп также приведены на рис. 9, и, таким образом, срок службы нитевидных

Рис. 9. Временная зависимость светового потока и срок службы испытанных образцов ламп



ламп варьируется от 1680 до 12700 ч, при этом среднее значение по выборке испытанных образцов составляет около 7200 ч.

Следующая исследуемая характеристика – изменение $T_{ки}$ во времени. Результаты испытаний показали существенное изменение этого параметра для некоторых образцов филаментных ламп – до 100 K и более. Подводя итог, можно отметить, что использование СД-филаментов и помещение их в стеклянную колбу без надлежащего решения проблем теплоотвода и виброустойчивости вы-

зывает серьёзные сомнения в успешном будущем этого направления. Такие же сомнения возникают при рассмотрении технологии производства этих ламп. Использование стеклянной колбы, установка филаментов в рабочие позиции, откачка, последующее заполнение специальной газовой смесью и запайка колбы с трудом поддаются автоматизации и требуют значительного времени в отличие от СД ЛПЗ «традиционной» конструкции.

Вышеуказанные проблемы потенциально могут быть решены при ор-

Таблица

Сравнение заявленных и измеренных значений основных характеристик исследованных образцов ламп

№	Тип изделия	Мощность			Световой поток		
		Заявленное значение, Вт	Измеренное значение, Вт	Отклонение, %	Заявленное значение, лм	Измеренное значение, лм	Отклонение, %
1	CLED-A60 5W/E27/2700K	5	5,2	4	800	819	2
2	PLED A60 OMNI 8W/E27/2700K	8	7,3	–9	720	741	3
3	LED Filament Lamp A60 6W/E27/warm light	6	5,9	–1	–	642	–
4	ASD LED-ШАР ПР 5Вт/E27/3000K	5	4,0	–20	450	350	–22
5	ASD LED-A60 ПР 6Вт/E27/3000K	6	4,5	–25	540	457	–15
6	ASD LED-A60 ПР 8Вт/E27/3000K	8	5,8	–27	720	582	–19
7	ASD LED-A60 ПР 10Вт/E27/3000K	10	7,4	–26	900	850	–6
8	Ambrella light LED6W/E27/2700K	6	2,6	–56	510	227	–56
9	Uniel Sky 7W/E27/3000K	7	5,0	–28	–	642	–
10	Feron LED7W/E27/2700K	7	5,9	–16	740	618	–16
11	Feron LED7W/E27/4000K	7	6,1	–13	760	695	–9
12	Feron LED5W/E27/4000K	5	3,8	–25	550	394	–28



Рис. 10. Лампа «Green Creative BR30 Cloud LED»



Рис. 11. Схематическое изображение процесса выращивания растений

ганизации и проведении комплекса научно-технических работ и требуют дополнительно времени.

В заключение этого раздела несколько слов о некоторых представителях СД ЛПЗ. В 2016 г. интенсивно развивающаяся китайская компания *Wellmax* представила СД ЛПЗ

с потребляемой мощностью 65 Вт со световым потоком 4500 лм, выполненную с корпусом из теплопроводной пластмассы с локальным нанесением алюминия [17]. Предполагается, что эта лампа послужит заменой 125-ваттной НЛВД. Лампа обладает пассивной системой охлаждения с каналами специальной формы для эффективного отвода тепла за счёт воздушной конвекции.

Второй представитель СД ЛПЗ, отличающийся новизной решения, — лампа «Green Creative BR30 Cloud LED» [18], в конструкции которой плата СД излучателя, помещённая в светозлучающий узел, отделена от части корпуса, в которой расположено УУ и цоколь, что существенно улучшает тепловые свойства изделия в целом (рис. 10).

Далее рассмотрим некоторые относительно новые перспективные направления развития оборудования

с СД. В этом ряду облучение растений в теплицах — «лакомый кусок финансового пирога» рынка облучательной техники. Приведённое схематическое изображение процесса выращивания растений (рис. 11) позволяет сделать некоторые выводы и обозначить проблемы. При этом растение — сложная многофакторная система, а свет — лишь один из множества факторов, влияющих на процессы выращивания растений. Разные растения и стадии их выращивания требуют разных интенсивностей и спектров излучения, а также регламентов выращивания. Добавляет неоднозначности в трактовке результатов существующая сортозависимость растений. Эксперименты по выбору технологических параметров освещения с помощью СД достаточно долговременны и экономически затратны. Требуется подтверждение результатов в разных географических условиях в теплицах разного конструктивного исполнения. Все компоненты и узлы облучателей с СД должны быть устойчивы к высоким влажности и температуре воздуха и ко всем видам химической обработки, характерным для тепличных хозяйств.

В последнее время, наряду с традиционными тепличными комплексами, заинтересованность в облучении (освещении) с помощью СД проявляется при создании так называемых фабрик растений [19], где применяются многоярусные стеллажи (14–18 уровней) и с использованием гидропонных систем выращиваются зеленные культуры (салат, базилик, петрушка и т.д.). Причём это направление вышло на крупносерийное производство, и есть информация [20], что таким способом только одной компанией *Spread* (Япония) выращивается и поставляется в торговую сеть (рестораны, пиццерии и т.д.) до 30000 головок салата в день.

Совершенно очевидно, есть и другое направление, которое появилось и начало бурно развиваться с создания установок, иногда называемых «пищевой компьютер» или «кухонный огород», для бытового использования и обеспечения семьи витаминной продукцией.

Для всех указанных направлений (рис. 12) необходимы высокие уровни световой отдачи и надёжности, а также получение специального спектра излучения.



Рис. 12. Направления использования тепличного облучения светодиодами: а — Минская овощная фабрика (2015 г.): тепличное облучение (ГП «ЦСОТ НАН Беларуси»); б — многоярусные системы; в — устройство для домашнего использования (ГП «ЦСОТ НАН Беларуси»)

Достаточно распространён маркетинговый ход, когда разработчик и производитель выпускают облучатели с СД с набором разных спектров излучения и разным световым потоком, тем самым перенося ответственность за положительный результат использования растениеводческого облучателя с СД на потребителя. Так, финская компания *Valoya* предлагает целую гамму облучателей разной мощности с разными спектрами (рис. 13) [21], сопровождаемая их общими рекомендациями: «для усиления генеративного развития», «для усиления вегетативного роста», «для исследовательских целей» и т.п. Аналогично и ведущая компания *Illumitex* (США) [22], кроме облучателей с СД с широким набором спектров, дополнительно предлагает облучатели с монохроматическим излучением на длинах волн 450, 525, 624, 660 и 730 нм (т.е. «инструментов» предлагается много, но необходимо уметь ими пользоваться).

Кратко остановимся на других перспективных областях применения СД-технологий. В последнее время СД оборудование получило серьёзный импульс к дальнейшему развитию в связи с повышением требований к качеству света СД, что позволило расширить сферы применения светильников с СД в таких областях, как освещение музеев, кино- и фотостудий, косметологических кабинетов. После изучения требований потребителей в ГП «ЦСОТ НАН Беларуси» был создан экспериментальный образец светильника для фотостудии (рис. 14), подтверждающий вышесказанное. По светотехническим характеристикам данный светильник – аналог стандартного светильника с ЛЛ, но с возможностью регулировки $T_{кц}$ и светового потока и низкой габаритной блёскостью. Основные технические характеристики: $R_a \geq 90$; $T_{кц}$ – настраиваемая в диапазоне 2700–6500 К с шагом 50 К; световой поток = 4500 лм, регулируемый в диапазоне 0–100 %; потребляемая мощность ≤ 60 Вт.

Во многом аналогичные задачи необходимо решать при создании оборудования с СД медицинского назначения. После решения задач по качеству света СД (правильной передаче цвета биотканей человека) получили развитие и широкое применение хирургические и стоматологические светиль-

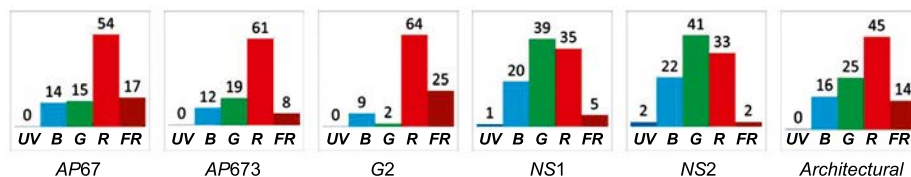


Рис. 13. Спектры излучения тепличных облучателей со светодиодами (компания *Valoya*)

ники с СД. Существенно шире стали применяться СД источники света для решения специальных задач (рис. 15) [23]. Данное направление, по нашим оценкам, будет в ближайшее время интенсивно развиваться.

Вопросы, затронутые при рассмотрении качества света СД и применения светильников с СД в медицине, перекликаются с проблемой фотобиологической безопасности. Фотобиологическая безопасность иногда рассматривается как несколько надуманная проблема, поскольку есть достаточно очевидные пути её решения: сдвигать пиковую длину волны λ_{max} синих СД кристаллов, применяемых в люминофорных белых СД, с 455 нм в район 405 нм или, например, устанавливая светофильтры, ослабляющие синюю часть спектра излучения, что, однако, снижает η белых СД.

Ещё один путь обеспечения фотобиологической безопасности – правильное конструирование светильников с СД, учитывающее требования нормативной базы по габаритной яркости и блёскости, причём весьма важно при этом наличие метрологического обеспечения производства и контроля за допуском этих изделий на рынок.

Начато продвижение СД в область УФ обеззараживания (рис. 16). Известны 2 прототипа устройств УФ обеззараживания, состоящие из реактора для облучения проточной воды и СД модуля с потоком излучения 150 мВт в спектральном диапазоне 250–300 нм ($\lambda_{max} = 275$ нм). Устройство эффективно нейтрализует в воде бактерии *E. coli*, *R. Terrigena* и *P. aeruginosa*, а также вирусы *MS2 phage* и *fr phage* при расходе воды 0,5–2,0 л/мин. Использование УФ диодов делает устройство компактным. Другая информация не раскрывается.

Известен также прототип устройства для УФ обеззараживания и очистки воды, в котором используются УФ-обеззараживание и эффект фотокатализа на диоксиде титана TiO_2 . В этом направлении активно работает кон-



Рис. 14. Светильник для фотостудии (ГП «ЦСОТ НАН Беларуси»)

сорциум во главе с Коркским технологическим институтом (Ирландия) [24]. Суть заключается в протекании воды по спиралевидному каналу, заполненному миниатюрными шариками с TiO_2 -покрытием. Под воздействием УФ излучения в приповерхностном слое этого покрытия происходит расщепление загрязняющих органических соединений на простейшие углеводороды и минералы.



Рис. 15. Светодиодные источники света для поиска и визуализации вен



Рис. 16. Основные узлы и внешний вид устройств с УФ диодами для УФ-обеззараживания

Рис. 17. Мобильный телефон серии «Moto Z» и проектор серии «Moto Insta-Share Projector»

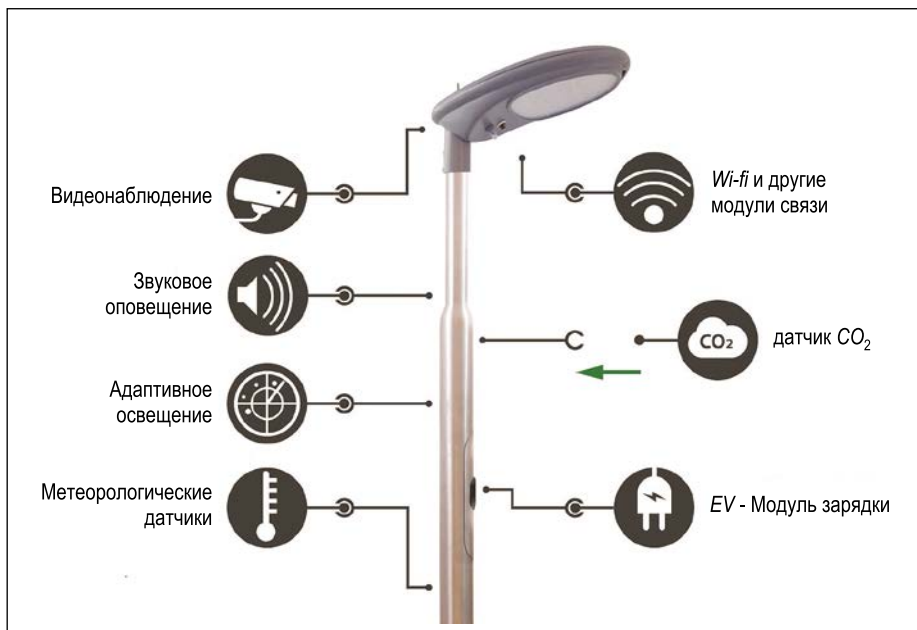
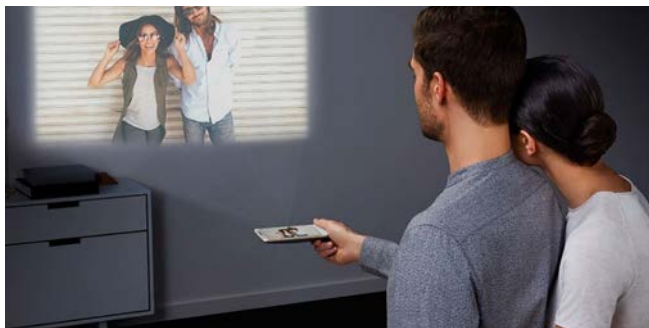


Рис. 18. Схематическое изображение уличного светильника со светодиодами

Ожидается, что эти прототипы выйдут в практику в ближайшие 3–5 лет.

Как уже говорилось, дисплейные технологии в начале 21 века служили движущей силой развития белых СД – для решения задач заднего освещения ЖК панелей. В настоящий

момент появилась не менее амбициозная задача – создать мобильный гаджет (смартфон) с функцией видеопроектора. Первые образцы таких изделий созданы и появились в продаже (рис. 17) [25].

Смартфоны «Moto Z» и проекторы «Moto Insta-Share Projector» (компания

Motorola) суммарно имеют разрешение 480p (854×480), контраст 1:400, световой поток 50 лм, размер экрана – до 70 дюймов (178 см) и время автономной работы до 1 ч. По некоторым сведениям, смартфон «Samsung S8» будет снабжён даже встроенным проектором. Аналогичные разработки проводит и компания Huawei. Для дальнейшего продвижения в этом направлении необходимы СД с $\eta_v \geq 250$ лм/Вт, $R_q \geq 90$ и т.д. Кроме того, необходимо решить задачи охлаждения таких СД, повышения ёмкости аккумуляторной батареи и снижения потерь света в канале формирования изображения. После решения этих задач в ближайшей перспективе (5–8 лет) потенциально у каждого жителя Земли будет в кармане лежать «кинотеатр».

Светотехнические компании всё чаще взаимодействуют с IT-компаниями и совместно обращаются к smart-освещению, чтобы получать доход от дополнительных возможностей, предоставляемых освещением. Они хотят сделать свет неотъемлемой частью «Интернета вещей» (в котором неодушевлённые предметы могут автоматически взаимодействовать друг с другом и выполнять согласованные действия, основанные на передаваемых данных, повышая эффективность использования энергии и облегчая повседневную жизнь).

Уличное освещение также предлагают перевести в разряд smart-освещения, и многие компании инвестируют значительные средства в модернизацию уличного освещения с наделением его дополнительными возможностями [26, 27]. Добавление датчиков, камер и даже громкоговорителей на «умный столб» делает систему освещения, конечно, дороже, но её расширенные возможности помогают различным службам вести свою работу, заменяя ведомственные узкоспециализированные сенсорные системы. Такие комбинации позволяют не только управлять включением освещения, но и одновременно следить за качеством воздуха, дорожным движением и загруженностью парковок, своевременно оповещать коммунальные службы о начавшемся снегопаде, делать звуковые сообщения о чрезвычайных ситуациях. Новизна этих функций относительна, и в такой совокупности на практике они встречаются редко. На рис. 18

приведено схематическое изображение уличного светильника с СД с достаточно универсальным набором функций [28].

В последнее время появилась новая «внутренняя» функция светильника. Это, так называемая, функция «*Li-Fi*», которая имеет ряд несомненных достоинств и недостатков. Некоторые примеры её возможного использования приведены в [29].

Представленная информация позволяет сделать некоторые выводы и заключения.

Осветительное оборудование с СД будет развиваться во многих направлениях, и ещё трудно предвидеть конечные результаты совершенствования его основных характеристик. Возможности реализации высоконадёжных светильников с СД малой и средней мощности уже доказаны на практике. За счёт дальнейшего повышения энергоэффективности СД, которое приведёт к снижению тепловыделения, и устойчивости к воздействию агрессивной среды будут реализованы высоконадёжные светотехнические устройства большой и сверхбольшой мощности с высоким качеством света и адаптивными функциями. Эти направления должны быть поддержаны развитием метрологического обеспечения, испытательного оборудования и нормативной базы в области СД оборудования с СД. Так что за работу, товарищи-светотехники!

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Лишик С.И., Паутино А.А., Поседько В.С., Трофимов Ю.В., Цвирко В.И.* Проблемы применения светодиодов в осветительных и светосигнальных устройствах и пути их решения // Светотехника. — 2008. — № 4. — С. 22–26.
2. *Трофимов Ю.В.* Как занять место под светодиодным солнцем. Постулаты развития светодиодной техники // Современная светотехника. — 2010. — № 1(02). — С. 14–17.
3. URL: <http://www.lumen2b.ru/catalog-luminaries> (дата обращения: 06.12.2016).
4. *Whitaker T.* LEDs in the mainstream: technical hurdles and standardization issues // Leds Magazine Lighting. — 2005. — October. — P. 11–13.
5. *Steele R.V.* LCD display backlighting and illumination markets drive HB-LED demand // LEDs Magazine Review. — 2006. — April. — P. 5–6.

6. URL: <http://www.electronics-eetimes.com/news/5630-packaged-led-delivers-210-220lmw> (дата обращения: 07.12.2016).

7. *Трофимов Ю.В.* Полупроводниковые светодиоды — новые сферы применения и тенденции развития рынка // Электронные компоненты. — 2003. — № 3. — С. 31–35.

8. *Трофимов Ю.В.* Полупроводниковые светодиоды — новые сферы применения и тенденции развития рынка (часть II) // Электронные компоненты. — 2004. — № 11. — С. 1–6.

9. URL: http://www.seoulsemicon.com/WICOP/WICOP_en.asp (дата обращения: 28.10.2016).

10. *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.

11. *Лишик С.И., Паутино А.А., Поседько В.С., Трофимов Ю.В., Цвирко В.И.* Конструктивно-технологические решения светодиодных ламп прямой замены // Светотехника. — 2010. — № 2. — С. 7–12.

12. *Трофимов Ю.В., Каледа И.А., Таугенов А.С., Лишик С.И.* Эволюция светодиодных ламп прямой замены // Наука и инновации. — 2015. — № 10 (152). — С. 13–17.

13. URL: <http://www.olino.org/advice/us/retrofit/step> (дата обращения: 05.12.2016).

14. URL: <http://www.pcmag.com/article2/0,2817,2483488,00.asp> (дата обращения: 05.12.2016).

15. URL: <http://www.toptenreviews.com/home/smart-home/best-led-light-bulbs> (дата обращения: 05.12.2016).

16. *Panasonic LED Bulb Wins Gold Award at Good Design Award 2011* // URL: <http://news.panasonic.com/global/topics/2011/7682.html> (дата обращения: 05.12.2016).

17. URL: <http://wellmaxgroup.com> (дата обращения: 06.12.2016).

18. URL: <http://gc-lighting.com/products/cloud-br30-8w/> (дата обращения: 07.12.2016).

19. *Wright M.* LED lighting advances in horticultural applications, boosts productivity // Leds Magazine. — 2014. — July. — P. 10–11.

20. URL: http://www.theguardian.com/environment/2016/feb/01/japanese-firm-to-open-words-first-robot-run-farm?CMP=share_btn_link (дата обращения: 06.12.2016).

21. URL: <http://www.valoya.com> (дата обращения: 06.12.2016).

22. URL: <http://www.illumitex.com> (дата обращения: 06.12.2016).

23. URL: <http://www.accuvein.com> (дата обращения: 06.12.2016).

24. URL: http://www.aqua-pulse.org/images/pdf/Aqua-pulse_Brochure.pdf (дата обращения: 06.12.2016).

25. URL: <https://www.motorola.com/us/products/moto-mods/moto-insta-share-projector> (дата обращения: 06.12.2016).

26. URL: <http://www.pennsmartlighting.com> (дата обращения: 06.12.2016).

27. URL: <http://www.lightwell.eu> (дата обращения: 06.12.2016).

28. URL: <http://www.lightinginsight.com/lightmotion-lightwells-intelligent-lamp-post> (дата обращения: 06.12.2016).

29. URL: <http://luxreview.com/article/2016/06/lifi-innovators-on-track-to-complete-paris-metro-installation> (дата обращения: 06.12.2016).



Лишик Сергей Иванович, кандидат техн. наук. Окончил в 1999 г. физический факультет Белорусского государственного университета. Учёный секретарь ГП «ЦСОТ НАН Беларуси»



Поседько Валерий Сергеевич, кандидат техн. наук. Окончил в 1981 г. факультет радиофизики и электроники Белорусского государственного университета. Заведующий научно-

исследовательским отделом ГП «ЦСОТ НАН Беларуси»



Трофимов Юрий Васильевич, кандидат техн. наук. Окончил в 1972 г. химический факультет Белорусского государственного университета. Директор ГП «ЦСОТ НАН Беларуси»



Цвирко Виталий Иванович, инженер. Окончил в 2000 г. факультет радиофизики и электроники Белорусского государственного университета. Начальник испытательной лаборатории ГП «ЦСОТ НАН Беларуси»