

Перевод и комментарии: Олег Зотин | o_zotin@mail.ru

«Умное» освещение¹

¹ Изложение 4-й главы программы Министерства энергетики США (Department of Energy, DOE) по планированию НИОКР в твердотельном освещении (Solid State Lighting, SSL) DOE SSL Program, R&D Plan, edited by James Brodrick, Ph.D., June 2016.



Введение

Прогресс светодиодных источников света и создание технологий SSL открыли путь для формирования инновационной парадигмы управляемого (умного, адаптивного) освещения (Connected Lighting). Возможность управления светильниками с использованием датчиков, процессоров и современных сетевых интерфейсов привела к новому пониманию функциональности систем освещения, которые стали взаимодействовать со смартфонами, «Интернетом вещей» (Internet of Things, IoT), системами «умных зданий» и «умных городов», что позволяет удовлетворять актуальные и вновь возникающие потребности.

Повсеместное распространение освещения в архитектурной среде позволяет создать разветвленную сеть узлов сбора и обмена информации, причем как в зданиях, так и на открытых пространствах, которую можно использовать и для других «умных» систем.

Предстоящее доминирование технологий SSL в системах интеллектуального освещения заставляет разработчиков активно обсуждать открывающиеся возможности и предлагать широкий спектр инноваций в светодиодном освещении.

Таким образом, разработка интеллектуальных приборов освещения стала важнейшим трендом в дальнейшей экспансии SSL.

Энергоэффективное управление светом

Интеллектуальные светильники помогают значительно экономить энергию, поскольку их яркость может регулироваться в зависимости от потребностей обитателей освещаемого пространства. При этом система управления светом способна контролировать занятость помещений и открытых территорий, учитывать и использовать солнечное освещение, применять автоматическое, программное и ручное управление, а также комбинировать любые из этих подходов. Все это органично сопрягается с SSL, причем энергосбережение может достигать до 60% [1].

Большой потенциал энергосбережения заставил, в частности, разработчиков строительного кодекса штата Калифорния внести в него указания по управлению освещением парковок, гаражей, зон погрузки и выгрузки. Так, если на этих

территориях отсутствует какая-либо активность (например, нет людей или движущихся автомобилей), предлагается снижать уровень освещенности вплоть до 20% от полного (www.dgs.ca.gov/dsa/Programs/progCodes/title24.aspx).

На рис. 1 приведено соотношение (в процентах) различных вариантов систем управления освещением в североамериканских коммерческих зданиях. Представленная диаграмма со всей очевидностью показывает, что пока еще в малой доле строений энергия экономится в результате управления освещением [2].

Следует заметить, что концепция управляемого освещения появилась еще тогда, когда в наружном освещении превалировали натриевые лампы, а во внутреннем — люминесцентные. Возможность диммирования этих ламп давала не более 40% экономии электроэнергии, что не окупало такие проекты.

Технология SSL дает существенно лучшие результаты, однако на пути реализации системных возможностей энергосбережения еще не преодолены некоторые препятствия. Ниже приведены наиболее значимые из них:

- сложность монтажа, пусконаладки и ввода в эксплуатацию систем управления;
- сложность модернизации;
- сложность пользовательского интерфейса, что может приводить даже к отключению систем из-за недостаточно хорошо обученного персонала;
- отсутствие взаимодействия между компонентами различных производителей, что затрудняет модернизацию функционирующих систем;
- ограниченные возможности систем по созданию отчетов и оценке количественных характеристик, таких как, например, потребление энергии.

Представляется, что преодолеть перечисленные сложности позволит возможность функционирования интеллектуальной системы освещения совместно с системами «умного дома» (рис. 2) с использованием общих протоколов и баз данных, алгоритмов и аналитических сервисов [3]. Это было бы наиболее выгодным как по начальным затратам, так и по обслуживанию.

Совместное пользование едиными интеллектуальными ресурсами позволит системам управления «умного дома» компенсировать большую часть дополнительных расходов на связь и управление. При этом может

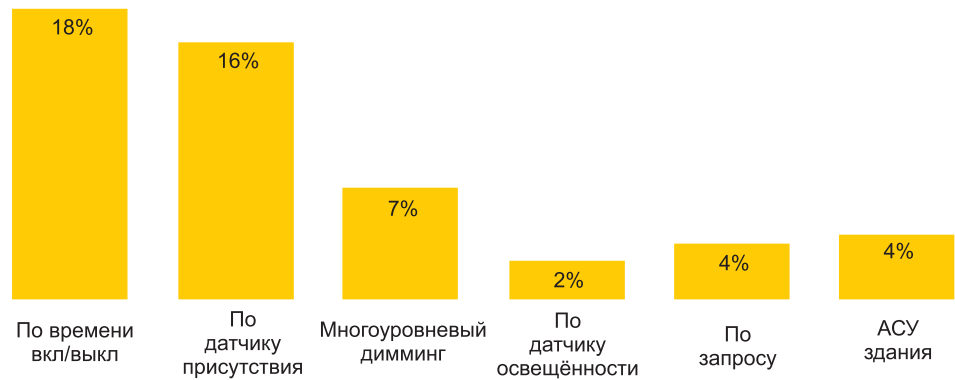


Рис. 1. Количество (в процентах) коммерческих зданий в США с различными методами управления освещением по результатам обследования 2012 г.

быть предложен широкий спектр услуг, способных не только повысить значимость систем освещения, но и внести улучшение в другие системы, большинство из которых пока функционирует изолированно, поскольку разработчики «умных систем» еще не пришли к единой технологии управления.

Все большее число производителей светильников либо самостоятельно, либо в партнерстве с компаниями, обладающими опытом разработки систем управления, начинают работать по созданию интегрированных интеллектуальных систем.

Некоторые примеры интеллектуальных светильников представлены в технологических платформах управления освещением SmartCast фирмы Cree (www2.cree.com/smartcastlanding-page) и SpaceWise компании Philips Lighting (www.usa.lighting.philips.com/products/product-highlights/spacewise-wireless-lightingcontrols.html).

В них яркость и цветовая температура могут регулироваться автоматически по сигналам от автономных датчиков освещенности и занятости, а также от пульта дистанционного управления с обеспечением автоматизированного конфигурирования системы.

Интересный подход к управлению светом в составе «умного дома» демонстрирует система Enlighted's Energy Manager (www.enlightedinc.com/productspage/#energy-manager). Она обеспечивает обработку данных, собранных по веб-интерфейсу со встроенных в светильники датчиков занятости и состояния окружающей среды, а также со счетчиков электроэнергии. Получая данные в реальном времени, операторы системы могут обоснованно экономить энергию или же повышать уровень комфорта в каждом помещении отдельно.



Рис. 2. Освещение как часть интегральной системы управления зданием

Связь

Поскольку в настоящее время не существует общепринятой архитектуры систем управления освещением, во многих системах используются устаревшие протоколы проводной связи, такие как цифровой адресуемый интерфейс освещения DALI (digitally addressable lighting interface) или интерфейс DMX512, обеспечивающие только базовый уровень обмена данными между устройствами.

В течение последнего десятилетия стало активно развиваться беспроводное управление. Различные технологии беспроводной коммуникации встречаются уже во многих устройствах, увеличивая их возможности при относительной простоте использования. Беспроводное управление привело к расширению функциональности наряду со снижением энергопотребления. Теперь доступ к управлению системой обеспечивается с помощью загружаемого в смартфон программного обеспечения (приложения). Легкость объединения беспроводных устройств в сеть привела к созданию таких организаций, как «Альянс управляемого освещения» (The Connected Lighting Alliance, CLA), который отстаивает применение открытых беспроводных протоколов, таких как ZigBee, Bluetooth и Wi-Fi.

Кроме беспроводных технологий, могут быть использованы и современные проводные технологии связи, в частности питание через Ethernet (Power over Ethernet, PoE). Ряд вариантов систем управления освещением

с PoE предлагается для закрытых помещений, в том числе технологии SmartCast компании Cree и PowerBalance компании Philips.

Взаимодействие

Развитие SSL привлекает все больше новых игроков в сферу освещения (в том числе производителей чипов и микроэлектронных систем). В результате создаваемые технологии управления и технологии больших данных, коммуникационные сети и продвинутая аналитика начинают оказывать обратное влияние на индустрию освещения. Возникает важная задача построения общих платформ и протоколов, которые бы способствовали согласованной и надежной работе устройств освещения, приложений, сетей и систем «умного» дома и города с обеспечением безопасного обмена данными.

В большинстве современных систем управления освещением использованы специализированное оборудование и программное обеспечение. Это вынуждает пользователя получать все продукты от одного поставщика, чтобы обеспечить совместимость. Такая зависимость от одного производителя увеличивает риск пользователя при новых установках, если поставщик не сможет (или не захочет) поддерживать вновь возникающие потребности. В этом случае пользователь сталкивается с непростой дилеммой: либо начать все сначала с другим производителем, либо эксплуатировать существующую систему, которая подходит уже не по всем параметрам.

Известная базовая эталонная модель взаимодействия открытых систем (open systems interconnection basic reference model, OSI) имеет семь уровней, а в своем упрощенном варианте — три уровня. Обычно выделяют физический и канальный уровни, на которых создаются данные. Далее следуют транспортный и сетевой уровни, где данные упаковываются, передаются и анализируются, а завершается все обработкой данных на сеансовом, представительском и прикладном уровнях [4]. В системах управления освещением (рис. 3) основные проблемы взаимодействия чаще всего возникают на уровнях светильников и датчиков, светильников и контроллеров, а также между центром управления и сетевыми устройствами. Многие из существующих протоколов управления освещением охватывают лишь нижние уровни взаимодействия, что может препятствовать интегрированию отдельных устройств в единую систему.

Стандартизация коммуникационных протоколов улучшает совместимость и упрощает системную интеграцию. Она способствует выбору в более широкой среде конкурирующих поставщиков и снижает инвестиционные риски, поскольку не дает попасть в зависимость от одного изготовителя, что стимулирует рост рынка и становится выгодным для всех потребителей и проектировщиков. Несколько групп работают над созданием общих спецификаций и стандартов, которые поддерживают улучшенное взаимодействие, включая ZigBee Alliance, the Thread Group и Open Connectivity Foundation. DOE должна помочь отраслевым консорциумам полностью раскрыть потенциал будущих систем.

Отметим, что для небольшой автономной системы освещения (например обслуживающей один конференц-зал или этаж здания) взаимодействие обычно не воспринимается как первостепенное качество. Однако в тех случаях, когда с течением времени может потребоваться коммуникация с такими инновационными системами, как дом с нулевым энергопотреблением, «умный город», «умная энергосеть» или интеллектуальный транспорт, сразу же возникнут сложнейшие проблемы.

Необходимость взаимодействия также будет важной задачей при внедрении домашних систем энергоменеджмента вследствие их немалой стоимости. Интеграция управления на основе таких систем, как Wink [5], Belkin's WeMo и Apple's Homekit, позволит

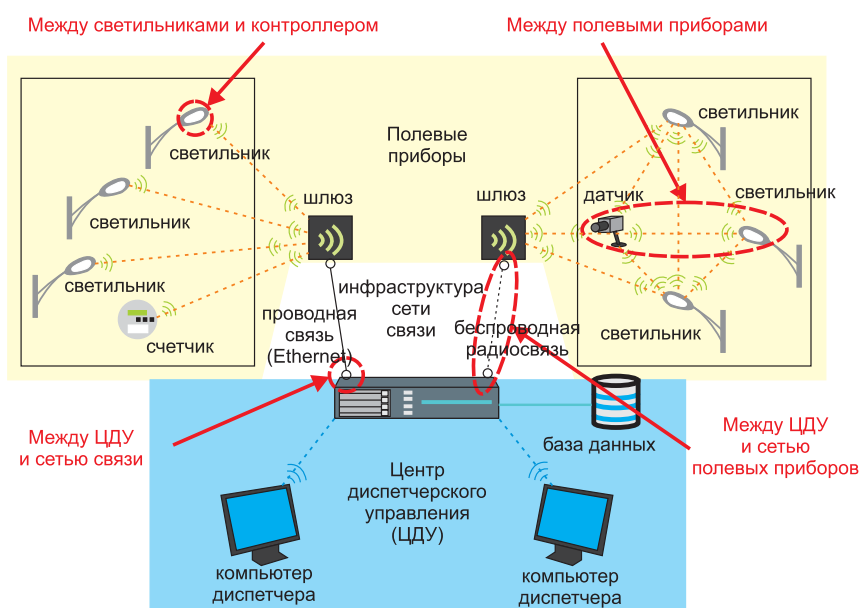


Рис. 3. Светильники, датчики, счетчики, шлюзы и центр диспетчерского управления, работающие совместно

потребителям управлять многими домашними устройствами с помощью одного простого интерфейса. Такие системы, как правило, имеют портативный центр управления, позволяющий связаться с большим набором смарт-продуктов по единой беспроводной технологии. Большинство интеллектуальных осветительных приборов управляются через локальную Wi-Fi-сеть (например, Philips Hue, GE Link, Cree Connected, OSRAM Lightify lamps), что позволяет упростить эксплуатацию и модернизацию систем.

Вопросы управления

Мониторинг энергопотребления

Одной из главных причин недостаточной активности электроэнергетических и энергосервисных компаний по инвестированию в системы управления освещением является неопределенность достигаемого уровня экономии энергии. Известно, что экономия может быть весьма различной, так как зависит от множества факторов, включая возможности используемой системы управления, назначение помещения и пр. В этих условиях измерительное оборудование следует включать в состав систем управления, что повышает экономическую эффективность проекта. Дополнительные затраты на встроенное оборудование могут быть скромными, особенно в долгосрочной перспективе, поскольку необходимые компоненты имеют маленькие размеры и интегрированы в существующие функциональные устройства. При таком подходе энергосервисные компании и коммунальные службы понесут меньшие затраты на сбор и анализ данных энергопотребления при реализации инновационных проектов и смогут предлагать более убедительную экономическую модель обслуживания своих клиентов.

Аналитика данных, не связанных с управлением светом

Традиционное освещение, являющееся обычной нагрузкой в инфраструктуре энергопитания, в конце концов будет заменено сетевой структурой устройств SSL с разветвленной сетью датчиков. Необходимые для управления SSL датчики освещенности и присутствия могут быть дополнены датчиками других типов, в том числе датчиками концентрации CO₂, вибрации, звука, атмосферного давления и даже датчиками изображения.

Это позволит использовать считавшиеся ранее труднодоступными способы сбора и обмена данными в интересах широкого круга собственников, операторов и пользователей для обеспечения более полного контроля физической среды, что повысит такие общесистемные характеристики, как информативность, продуктивность, эффективность и безопасность.

«Умные города»

Создание «умного города» предполагает возможность развернуть плотную сеть сбора и обработки данных, для того чтобы предоставлять горожанам и диспетчерам «умных систем» информацию о качестве воздуха, о погодных условиях, о наличии свободных мест на ближайших парковках, об изменениях в схемах движения, о данных видеонаблюдения и пр. Установка интеллектуальных уличных светодиодных светильников не только обеспечит повышение энергоэффективности освещения, сокращение технического обслуживания и увеличение срока службы, но и приведет к созданию базы для сети датчиков, обеспечивающей город дополнительными услугами [6], что и показано на рис. 4.

При реализации беспроводного управления светодиодные уличные светильники могут составить основу ячеистой сети радиосвязи, услуги которой предоставлялись бы и другим системам, что оптимизирует стоимость каждой из них. Действительно,

опоры уличного освещения являются идеальной платформой для размещения датчиков окружающей среды и датчиков систем безопасности, таких как видекамеры или, к примеру, предложенные GE Lighting акустические датчики обнаружения выстрелов с определением тех мест, где они были произведены, методом триангуляции и сообщением об этом в полицию в режиме реального времени. Данные со всех этих датчиков могут быть отправлены в единый центр управления, а затем рассортированы по функциональному назначению и переданы информационным серверам городских служб. Необходимые управляющие воздействия на светильники и другие устройства «умных» систем передаются и в обратном направлении.

«Умная» система уличного освещения существенно экономит городской бюджет не только потому, что светодиодное освещение является более энергоэффективным, чем общепринятое освещение натриевыми лампами, но и потому, что вместо оплаты по фиксированному тарифу энергия будет оплачиваться по счетчику. Кроме того, городские службы могут программировать время включения, выключения и перехода на ночной режим (например, снижая яркость светильников до 50% к середине ночи и возвращая их к полной яркости ранним утром), что вполне удовлетворит пешеходов и водителей, а также позволит еще больше экономить электроэнергию.



Рис. 4. Сервисы, которые могут быть реализованы в городе при использовании встроенных в уличные светильники датчиков различных типов

Важным качеством системы управляемого уличного освещения является возможность идентификации местоположения каждого светильника по встроенным датчикам GPS, что позволит оперативно устранять неисправности.

Под эгидой Национального института стандартов США (American National Standards Institute, ANSI) была разработана семиконтактная розетка [6], обеспечивающая простой и легкий способ подключения к светильникам наружного освещения внешних устройств (рис. 5). К этой розетке легко подсоединяется беспроводной узел сети, например такой, как GE LightGrid (<http://www.gelighting.com/LightingWeb/emea/>), который обеспечивает следующие функции [6, 7]:

- точное измерение потребляемой электроэнергии каждого светильника;
- определение координат по встроенному в узел GPS-датчику;
- автоматическое конфигурирование за считанные минуты;
- возможность подключения узла любой разновидности в любой момент времени;
- автоматический переход на встроенный временной график при отказах сети связи.

Подробное описание узла LightGrid приведено в брошюре GE Lighting по уличному освещению: www.luminspiration.com/i/521847-outdoorbrochure-2015.

Широкополосная связь на основе технологии VLC

Непрерывный рост глобального мобильного информационного трафика, превышающий 50% в год [9], приводит к возникновению проблем, которые можно разрешить, применив высокочастотную модуляцию видимого света (visible light communication, VLC). VLC-каналы связи с расширенной полосой рабочих частот могут быть созданы на базе лазерных диодов (Laser Diodes, LD) или сверхлюминесцентных диодов (Superluminescent Diodes, SLDs). Модуляции света визуально незаметны, но их может воспринимать камера практически любого смартфона. Потребуется также дополнительные системные исследования для обеспечения непрерывности связи при переходе от одного светильника к другому. Кроме того, необходимо будет соединить светильники с сетью высокоскоростной передачи данных.

Навигация в помещениях

Светодиодное освещение можно применять в качестве платформы для позиционирования с использованием VLC. Навигация VLC актуальна в помещениях, через которые проходят интенсивные потоки покупателей, посетителей или пассажиров, например в больших торговых центрах, выставочных залах, метро. Положение смартфона в обслуживаемом помещении можно определять в режиме

реального времени с погрешностью, не превышающей длину шага. Светильники целесообразно дополнительно оснащать Bluetooth (или Wi-Fi) маячками, чтобы отслеживать перемещение покупателя даже тогда, когда смартфон скрыт.

Некоторые производители уже предлагают технологии навигации для центров торговли. «Навигационные» VLC-светильники можно будет использовать для передачи на смартфоны посетителей торговых залов данных, актуальных в конкретной зоне, например о скидках, о местонахождении и о свойствах товаров и т. п. [8]. При этом продавец будет получать информацию о потоках покупателей и об интересе, который они проявляют, останавливаясь у групп конкретных товаров или возле внешних витрин здания. Кроме того, можно будет фиксировать потенциальных покупателей, которые просто проходят мимо.

Анализ полученной информации позволит вычислить количество как впервые заходящих в здание посетителей, так и повторных визитеров, а также время, которое они проводят в каждой отдельной секции торгового зала. Благодаря этому аналитики торговой компании получают ценные сведения для выработки управляющих решений, в том числе смогут:

- определить почасовой трафик покупателей;
- оперативно корректировать потребность в персонале;
- активно привлекать покупателей и увеличивать численность постоянных клиентов.

Правильное использование результатов анализа может повысить эксплуатационную эффективность, обеспечить безопасность и увеличить доходы в таких зонах, как аэропорты, логистические центры, учебные и медицинские учреждения и т. п. Возможность получения дополнительного регулярного дохода улучшает экономическую эффективность внедрения светодиодов, обеспечивая ускорение возврата вложенных инвестиций.

Информационная безопасность

Поскольку все больше устройств объединяют в единую сеть, возрастают риски, связанные с информационной безопасностью. Об этом, в частности, свидетельствуют публикации о случаях взлома хакерами систем сетевой защиты при проникновении через системы осве-

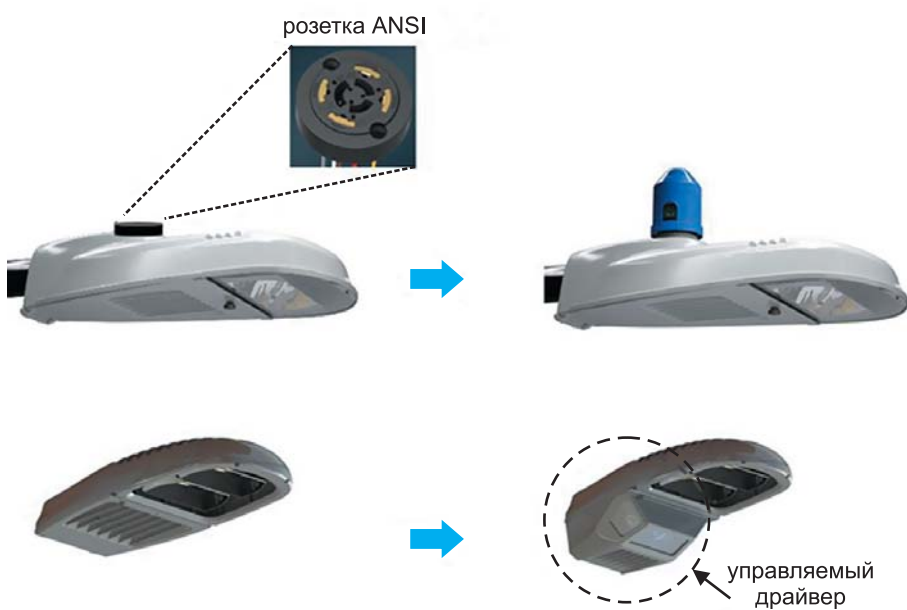


Рис. 5. Варианты управляемых светодиодных уличных светильников

щения [10]. Производители, знающие о такой опасности, стремятся вкладываться в обеспечение безопасности уже в начале разработки нового программно-аппаратного продукта. Однако тестирование ряда систем показало, что зачастую не соблюдаются даже базовые принципы безопасности. Это относится, наряду с прочим, и к отсутствию необходимого уровня шифрования и идентификации, к использованию открытого текста при передаче конфиденциальной информации, а также к применению простых паролей [10]. Защита данных и конфиденциальной информации, предотвращение несанкционированного доступа будут иметь решающее значение для компаний, которые хотят завоевать и сохранить доверие пользователей «умного» освещения.

Заключение

Управление SSL обеспечивает значительно большую экономию электроэнергии, чем простой переход от газоразрядных светильников к светодиодным. Энергия также экономится и в других подключаемых «умных» системах, например в системах отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха (Heating, Ventilation, and Air Conditioning, HVAC). Ряд других «умных» систем будут активно развиваться по мере снижения дополнительных затрат на реализацию коммуникации и управления.

Очевидно, что системы интеллектуального освещения будут играть значительную интегрирующую роль и да-

леко за пределами области повышения энергоэффективности, например для обеспечения коммуникации с посетителями, покупателями, пассажирами или зрителями, как было отмечено выше. Такие дополнительные возможности помогут интенсифицировать получение доходов, а также активизировать новые возможности. Это полностью изменит подход к системам управления, сделает их самокупаемыми и даст толчок к их развитию при условии правильной интеграции и учета интересов соответствующих служб.

В настоящее время DOE работает со своими промышленными партнерами в целях ускорения разработки систем управляемого освещения, которые:

- позволят осветительным системам самим измерять потребляемую электроэнергию;
- обеспечат высокую эксплуатационную совместимость оборудования и программного обеспечения (протоколов);
- будут обладать существенно более простыми вводом в эксплуатацию и техническим обслуживанием, чем существующие системы управления освещением.

Частью этих сосредоточенных усилий стало проведение под эгидой DOE серии семинаров, посвященных управляемому освещению, которые направлены на поощрение сотрудничества представителей промышленности в этой области.

Кроме того, такие семинары помогут устанавливать приоритеты для инвестиций в НИОКР, которые потребуются производить как в общественном, так и в частном секторе. ●

Литература

1. www.energy.gov/sites/prod/files/2015/02/f19/biery_controls_sanfrancisco2015.pdf.
2. http://energy.gov/sites/prod/files/2015/11/f27/arnold_whyevolve_portland2015.pdf.
3. www.ledsmagazine.com/articles/print/volume-12/issue-2/features/connectivity/integratingthe-internet-of-awareness-into-our-smart-ssl-systems.html.
4. http://energy.gov/sites/prod/files/2014/11/f19/poplawski_interoperability_detroit2014.pdf.
5. www.wink.com/.
6. http://energy.gov/sites/prod/files/2016/02/f29/prasad_connected_raleigh2016.pdf.
7. www.gelighting.com/LightingWeb/na/solutions/control-systems/lightgrid-outdoorwireless-controlsystem.jsp.
8. Hansen M. Personal Correspondance with Philips Lighting. [Interview]. 2016. May.
9. www.cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/service-provider/visualnetworking-indexvni/mobile-white-paper-c11-520862.html
10. Jauregui P. Exploring and Addressing Security Risk in Smart Lighting Systems / Strategies in Light. Las Vegas, NV. 2015.

КОММЕНТАРИИ СПЕЦИАЛИСТА

В 4-й главе DOE SSL Program представлен подробнейший анализ современного состояния и перспектив развития североамериканских светодиодных систем управляемого освещения. Анализ базируется на докладах, представленных на конференциях по SSL и Connected Lighting, прошедших под эгидой DOE в Детройте (2014, ноябрь), Сан-Франциско (2015, январь), Портленде (2015, ноябрь) и Роли (2016, февраль). Кроме того, в программе учтены материалы нескольких международных конференций Strategies in Light, а также ряд рекламных материалов ведущих

светотехнических и коммуникационных корпораций.

Несмотря на вселенский охват тематики управляемого светодиодного освещения в данном материале, представляется, что вне поля зрения автора остались ряд важных деталей, а также некоторые системообразующие аспекты, непосредственно влияющие на потребительские качества и конкурентоспособность будущих систем «умного освещения», которые могут существенно изменить их облик. Основной причиной такого ограничения поля зрения, по всей видимости, является подход DOE к созданию

инновационной парадигмы, основанный на стимулировании активнейших компаний отрасли, поощряя их вклад в общий процесс создания Connected Lighting с выделением наиболее прибыльных направлений развития.

На самом же деле, если уж обсуждать инновационную парадигму, имеет смысл непредвзято рассмотреть самый широкий круг вопросов, влияющих на основные характеристики инновационных систем освещения. При этом во главу угла следовало бы ставить не прибыли ведущих компаний и инвесторов, а минимизацию расходов потребителей и пользователей

таких систем, что и позволит, в конце концов, создать наиболее конкурентоспособную систему освещения. Такой альтернативный подход, в целом, ведет к нескольким другим выводам о конкретных параметрах систем.

Так, интеллектуализация наружного освещения городов выдвигает на первый план вопросы повышения надежности и уменьшения стоимости оборудования, функционирующего на наших улицах в весьма непростых условиях эксплуатации. Требуется существенно улучшить характеристики как электроники светильников и датчиков, так и оборудования пунктов питания линий освещения, о которых в программе DOE вообще не сказано ни слова. обстоятельное рассмотрение этих вопросов в статьях [1] и [2] приводит к выводу о больших преимуществах интеллектуальных систем освещения, построенных на сетях постоянного напряжения.

Характерно, что в одной из предыдущих глав программы DOE по этому поводу дан довольно точный комментарий: «Подключение светильников в здании может быть улучшено благодаря использованию сети постоянного тока (DC), если будет снято требование преобразования традиционного переменного тока (AC) в драйвере, запитывающем светодиоды каждого светильника. Данный подход особенно привлекателен при использовании возобновляемых источников энергии, таких как солнечные или ветряные электростанции с их буферными системами аккумуляторных батарей. Действительно, при этом не потребуются преобразование исходного постоянного тока в переменный для обычной AC-сети и обратное преобразование в постоянный ток для функционирования светодиодов».

Очевидно, что при реализации концепции интеллектуальной DC-системы управляемого освещения в жилых и коммерческих зданиях приходится сталкиваться с весьма большими трудностями из-за того, что массовый потребитель электроэнергии «заточен» на потребление AC-энергии, хотя практически в каждом приборе она сразу же подвергается превращению в DC с помощью выпрямителей и корректоров коэффициента мощности. Тем не менее уже существует ряд DC-систем энергоснабжения, внедренных в основном в центрах обработки данных, т. е. там, где

DC-питание серверных стоек признано наиболее эффективным.

Для изолированных сетей наружного освещения проблема перехода на DC должна решаться гораздо проще вследствие наличия в качестве потребителей только светильников. В результате схемы драйверов светильников могут быть существенно сокращены при повышении их надежности. Уже создан ряд европейских систем уличного и тепличного освещения, построенных на DC-сетях на базе этой идеологии [3].

Проведенный в работе [4] анализ показал, что первый этап войны между AC и DC закончился в начале XX века выделением для DC ряда резерваций: сети питания электротранспорта, аккумуляторные системы различного назначения и пр. С тех пор мы имеем почти полное доминирование трехфазных сетей, предложенных в конце XIX века М. О. Доливо-Добровольским. Он же предсказал (1919), что в случае появления надежных устройств, обеспечивающих повышение и понижение постоянного напряжения, неизбежен обратный переход на DC-системы. Доливо-Добровольский связывал это, по большей части, с повышенной эффективностью линий электропередачи постоянного напряжения.

С развитием полупроводниковой электроники такие устройства (инверторы) появились, что привело, в первую очередь, к созданию высоковольтных DC-линий электропередачи. В наше время массовый переход с AC на DC сдерживает практически только один, но зато весьма значимый фактор — наличие миллиардов электроприборов, подключаемых к AC-сетям.

Тем не менее налицо все признаки «ползучей» DC-революции, которая начинается с тех мест, где давление этого фактора минимально. Первые ее прорывы связаны с уже упомянутым переходом на DC ряда центров обработки данных, поскольку при этом были получены существенные преимущества в энергосбережении и надежности системы электропитания.

Очевидно, что следующими на очереди окажутся обособленные сети наружного освещения, а параллельно происходящая светодиодная революция должна дать дополнительный синергетический эффект.

Еще одной сферой, где весьма вероятен прорыв DC-освещения, являются взлетно-посадочные полосы аэродромов, которые до настоящего времени вообще подсвечиваются с помощью галогенных ламп. Причем их подключение осуществляется через вторичные обмотки последовательно включенных в высоковольтную сеть трансформаторов, а необходимое диммирование (примерно в 5 раз) проводится регулированием питающего переменного высоковольтного напряжения. Ни надежность, ни энергоэффективность таких систем в условиях SSL-революции уже не выдерживают никакой критики.

Что же касается деталей построения систем «умного» освещения, то вне поля зрения программы DOE остались весьма важные частности, среди которых следует отметить:

- Необходимость дополнения коммерческого учета электроэнергии оперативным техническим учетом, что позволит бороться не только с возможными утечками и неисправностями, но и с несанкционированными подключениями. При этом не требуется контролировать потребление каждого светильника, достаточно получать информацию от счетчика (счетчиков) из пункта питания наряду с возможным дополнительным контролем токов в отходящих от него линиях освещения [2]. Сюда же стоит отнести и контроль энергопотребления возможных санкционированно подключенных потребителей (например, светодоров).
- Связь по силовой сети (Power Line Communication, PLC) существующих стандартов G3 и PRIME для создаваемой DC-сети имеет существенные предпочтения перед пропагандируемыми программой DOE беспроводными технологиями связи (ZigBee и Wi-Fi). В частности, информационная безопасность в проводных технологиях связи вызывает гораздо меньше вопросов.
- Кроме упомянутых в программе утилитарных и экзотических датчиков (например, датчиков идентификации стрельбы), для управления уличным освещением будет важно применять датчики интенсивности дорожного движения, которые функционально отличаются от известных инфракрас-

ных датчиков занятости. Необходимо также рассмотреть возможность использования более широкого круга датчиков, включая датчики наклона опор освещения и даже акустические датчики определения дорожно-транспортных происшествий [2].

- Совсем не обязательно оснащать каждый светильник датчиком спутниковой навигации. Операцию по определению его положения достаточно выполнить один раз при его установке, для чего монтажнику, например, достаточно считать штрихкод оптическим считывателем, снабженным датчиком GPS или ГЛОНАСС и модемом сотовой связи. Диспетчерская система, получив сообщение, обеспечивает конфигурирование с привязкой светильника к местоположению его опоры и включает его в отчет по монтажу и пусконаладке.
- Взаимодействие системы «умного» городского освещения с другими городскими системами следует рассматривать в более широком аспекте. Так, использование общих каналов связи с интеллектуальными транспортными системами (в том числе для управления светофорами и табло на остановках городского транспорта) должно положительно повлиять на экономическую эффективность «умного» города.

И наконец, следует рассмотреть важный системообразующий фактор, заключающийся в беспрецедентной экспансии на улицы городов мира электромобилей (Electric Vehicles, EV). Нашествие EV по темпам роста в несколько раз превысило скорость распространения гибридных авто, достигнув уже 1 млн EV, из которых более 1/3 бегают по дорогам североамериканского континента. Одним из препятствий для дальнейшего расширения рынка сбыта EV является отсутствие нужного количества легкодоступных зарядных станций. Действительно, главный недостаток EV — довольно продолжительное время заряда его бортового аккумулятора. Однако можно преодолеть этот недостаток, совместив места парковки и зарядки EV. Это проще всего сделать, расположив портативные зарядные станции в опорах освещения и выделив рядом с ними парковочные места. Питание такой зарядной станции от линии DC, как известно, может обеспе-

чивать и ускоренную, если потребуется, зарядку аккумулятора EV. Технология LightMotion (<http://lightmotion.nl>), совмещающая умное городское освещение, зарядку EV и видеонаблюдение, уже делает первые шаги в Европе (рис. 6).

Таким образом, приведенная концепция системы интеллектуального освещения для открытых (и не только) пространств существенно отличается от той, что предлагает DOE. Полагаем, что это свидетельствует не о глубине проведенного нами анализа, а о тенденциозно сформулированной DOE цели для привлечения инвестиционного капитала.

Капитал, как писал цитируемый К. Марксом английский публицист Даннинг, «... избегает шума и брани и отличается боязливой натурой. Это правда, но это еще не вся правда. Капитал боится отсутствия прибыли или слишком маленькой прибыли, как природа боится пустоты. Но раз имеется в наличии достаточная прибыль, капитал становится смелым. Обеспечьте 10%, и капитал согласен на всякое применение, при 20% он становится оживленным, при 50% положительно готов сломать себе голову, при 100% он попирает все человеческие законы, при 300% нет такого преступления, на которое он не пошел бы, хотя бы под страхом виселицы. Если же шум и брань приносят прибыль, капитал станет способствовать и тому и другому. Доказательство:

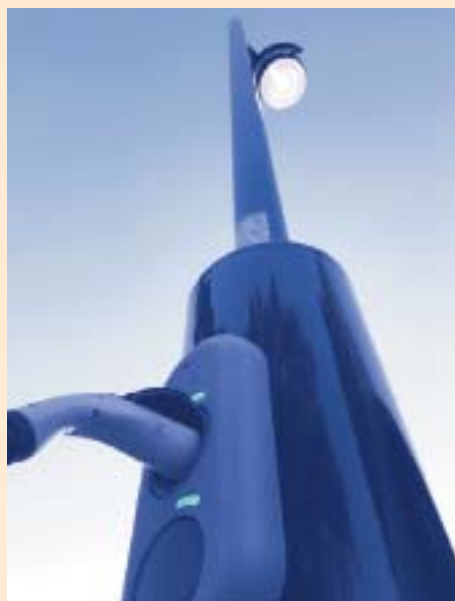


Рис. 6. Зарядная станция на два электромобилей, совмещенная с опорой городского освещения

контрабанда и торговля рабами» [5]. В наше время этот перечень доказательств можно было бы заменить на наркоторговлю и поддержку терроризма.

Учитывая все вышесказанное, следует признать, что первоочередной задачей в обсуждаемой нами области должно стать формирование выверенной цели для приложения усилий разработчиков, эксплуатационников, инвесторов и чиновников. Отдельные элементы описания будущей концепции представлены в [6]. Очевидно, что эта задача превышает возможности как гипотетической ассоциации энергосервисных компаний, так и ассоциации производителей, например «Некоммерческого партнерства производителей светодиодов и систем на их основе» (НП ПСС). Такой вопрос, скорее всего, можно было бы поставить в Некоммерческом партнерстве «Росторсвет» — ассоциации муниципальных организаций, эксплуатирующих городское освещение, или даже в «Международном сообществе городского освещения» (Lighting Urban Community International, LUCI).

В любом случае, очевидно, что последующим важнейшим шагом должно стать создание долгосрочной программы модернизации освещения, аналогичной ряду муниципальных программ «Светлый город», реализованных в конце 1990-х и начале 2000-х годов.

Литература

1. Зотин О. Некоторые особенности VI светотехнической революции в наружном освещении // Полупроводниковая светотехника. 2015. № 1–3.
2. Зотин О. Управление городским освещением. От ретроспективы к перспективе // Control Engineering. 2015. № 4–6.
3. Зотин О. Сети освещения на постоянном напряжении в Нидерландах // Полупроводниковая светотехника. 2015. № 4.
4. Зотин О. В преддверии возрождения постоянного тока // Силовая электроника. 2013. № 4–6.
5. Dunning T. J. Trade's Unions and Strikes: Their Philosophy and Intention. — London. 1860.
6. Зотин О. Интеллектуальное наружное освещение. От замысла через концепцию к парадигме // Полупроводниковая светотехника. 2016г. № 2, 3.