

Олег Зотин

Интеллектуальное наружное освещение. От замысла через концепцию к парадигме. Часть 2

*Мы живем в обществе, полностью зависящем
от науки и технологии, в котором мало кто
хоть что-нибудь понимает в науке и технологии.*

Карл Саган.

Мир, полный демонов

*Подлинное знание начинается с разрушения иллюзий,
с раз-очарования (Ent-täuschung).*

Эрих Фромм.

Иметь или быть

➔ Сформулировав в первой части статьи основные положения концепции интеллектуального наружного освещения (ИНО), переходим к определению характеристик составных частей и рассмотрению возможных путей развития ИНО.



Ночной Петербург (фото Федора Борисова)

Предисловие

*Для любой проблемы всегда найдется
понятное решение —
ясное, точное, достижимое
и ошибочное.*

Генри Луис Менкен. Предрассудки

Необходимо признать, что предлагаемая концепция ИНО находится в явной оппозиции к общепризнанному мировому тренду так называемой светодиодной революции (so-called LED revolution). Не отрицая преимущества светодиодов перед натриевыми лампами высокого давления и невзирая на возможный сдвиг текущего тренда в сторону эффективнейших лазерных диодов, о чем недавно поведал лауреат Нобелевской премии Суджи Накамура [1], попытаемся проанализировать более широкий круг вопросов по созданию ИНО. При их рассмотрении предстоит убедиться, что революционные изменения должны затронуть не только источники света, но и все остальные составляющие наружного освещения (НО).

С самого начала разработки инновационной технологии ИНО необходимо позаботиться о ее открытости, которая позволит совершенствовать входящие в нее элементы, улучшать алгоритмы их взаимодействия и модернизировать программное обеспечение (ПО). Следует также предусмотреть вариативность реализации ИНО в зависимости от масштаба и назначения конкретного проекта, а также от величины ресурсов, выделяемых для его создания.

Пренебрежение этими принципами в условиях перманентного технического прогресса вызовет появление аномалий по Куну (см. часть 1 данной статьи), которые в лучшем случае приведут нарождающуюся технологию к кризису, а в худшем — ее развитие затормозится после неудач на пилотных проектах. Исходя из этих же соображений, важно предусмотреть интеграцию ИНО с гипотетическими системами будущего «умного города».

Важнейшей особенностью этого процесса является то, что главной движущей силой развития ИНО, как и любой другой радикальной инновации, являются не текущие требования пользователей, а понимание разработчиками прогрессивных свойств перспективной технологии с выходом на качественно новый уровень

требований [2]. Конкретным предложениям по инновационным составляющим ИНО с широким спектром возможностей управления, вытекающим из этого понимания, и будет посвящен приведенный здесь материал.

Начнем с обсуждения характеристик основных элементов ИНО, которые должны составить костяк его структуры. Затем рассмотрим возможные дополнительные функции, которые могут быть востребованы как в ИНО, так и в сопрягаемых с ним системах будущего «умного города». Кроме того, будут затронуты вопросы стандартизации и намечены задачи для отработки на пилотных проектах в условиях Российской Федерации.

Основные элементы ИНО

Мы не в состоянии остановить прогресс или повернуть его вспять, поэтому мы вынуждены выявлять и устранять возможные риски.

Стивен Хокинг. Из лекции на радио Би-Би-Си. Лондон. 02.02.2016

Базовую структуру электропитания ИНО предлагается строить на трехпроводной сети биполярного постоянного напряжения, технико-экономическое обоснование которой было представлено в работах [3, 4]. При этом подключать светильники к биполярной линии освещения (ЛО) целесообразно между одним из питающих (положительным или отрицательным) проводов и нулевым, чередуя подключения от опоры к опоре, аналогично перемене фаз в традиционных ЛО. Такая схема ЛО имеет повышенную живучесть при возможных коротких замыканиях, обрывах или других неисправностях. Следовательно, для каждой ЛО в пункте питания (ПП) потребуется два автомата защиты (по «+» и «-») вместо использующихся в существующей схеме трех предохранителей (плавких вставок) для трехфазной ЛО.

Поскольку ИНО будет представлять собой «умную» сеть управляемых светильников, то будет логично и включение света осуществлять не традиционной коммутацией сетевого напряжения, а подачей на драйверы светильников команд от контроллера ПП, что позволит держать напряжение в сети круглосуточно с обеспечением ее постоянного контроля. (Такое управление электрическим светом напоминает описан-

ное в части 1 статьи управление газовым освещением без полного отключения подачи газа). В результате интеллектуальная сеть освещения станет объектом, удобным для сопряжения с различными системами «умного города».

Отдельно стоит отметить и обеспечение большей электробезопасности постоянного напряжения для людей и для животных. Как известно, взяв на вооружение этот аргумент, сторонники Эдисона в самом начале электротехнической революции развязали так называемую «войну токов» (AC/DC Battle). В конце концов они потерпели в ней стратегическое поражение, поскольку единственная возможная в то время технология преобразования (повышения/понижения) постоянного напряжения на базе мотор-генераторов (умформеров, динамоторов) не могла соперничать с трансформаторной технологией преобразования переменного напряжения.

Гораздо позже, уже в конце XX века, исследования по охране труда показали, что опасность переменного тока для человека, судя по величинам его ощутимого значения, не отпускающего и фибрилляционного значения, в 3–5 раз (!) превышает опасность постоянного тока. Как выяснилось, это определяется в основном тем, что промышленные частоты (50 и 60 Гц) близки к частотам «резонансного» воздействия на органы человека, что хорошо знакомо каждому испытавшему удар током.

Меньшая опасность постоянного напряжения находит подтверждение и на практике. Например, специалисты по охране труда отмечают, что количество летальных случаев и электротравм, получаемых персоналом, непосредственно обслуживающим трамвайные и троллейбусные сети постоянного напряжения, пренебрежимо мало по сравнению с количеством такого же рода происшествий, случающихся при обслуживании аналогичных сетей переменного напряжения. Профессиональные электрики, знакомые с обоими видами напряжений, шутят, что постоянное напряжение бьет только один раз, а переменное — 50 раз в секунду.

При существующей системе трехфазного энергоснабжения для создания биполярного напряжения, питающего сеть ЛО, наиболее целесообразно использовать высокоэффективный мультипульсный выпрямитель, который может иметь разные

модификации в зависимости от нагрузки, например на 50, 100, 200, 400 уличных светильников (мощностью 5–100 кВт). Выпрямитель можно было бы расположить в ПП, однако предпочтительнее разместить его в питающей подстанции городской электросети, где он будет лучше защищен от внешних воздействий: атмосферных осадков, высокой влажности, экстремальных температур, разрядов атмосферного электричества, наводнения, коммунальных аварий, вандализма и пр. При этом необходимо учитывать, что для широко применяемых качественных, высоконадежных и отказоустойчивых мультипульсных выпрямителей необходимо использовать более сложную схему подключения силового трансформатора с большим числом обмоток. А поскольку, согласно ПУЭ, трансформатор, выделяемый для освещения, располагается в подстанции, то и выпрямитель следует размещать там же. Такой подход существенно повышает электробезопасность при работе в ПП, находящемся в уличных условиях, поэтому его можно считать практически безальтернативным.

Автомат защиты ЛО может, в зависимости от назначения и значимости системы ИНО, быть как простейшим автоматическим выключателем, защищающим ЛО лишь от коротких замыканий и перегрузок, так и более сложным электронным расцепителем с интеллектуальными функциями контроля и диагностики. Эти функции могут включать в себя измерение протекающего тока, дистанционную настройку величины номинального тока автомата, контроль срабатывания защиты, изменение, если потребуются, быстродействия и типа характеристики отключения (А, В, С, D, К, Z).

Необходимость коррекции характеристик автоматического выключателя связана с возможными вариациями нагрузки в ЛО во время эксплуатации. Они могут иметь самые разнообразные причины, например, такие как реконфигурация ЛО с увеличением или уменьшением количества светильников, подключение и снятие праздничной иллюминации, подключение дополнительной подсветки зданий, сооружений и памятников, повышение мощности или переход на другой тип светильников и т. п. В обычной трехфазной сети это сопровождается заменой трех плавких вставок для каждой ЛО с предварительными замерами

величин фазных токов специальными токоизмерительными клещами (клещами Дитце). Наличие в ИНО интеллектуальных автоматических выключателей позволит проводить дистанционное измерение тока и контролируемое изменение токовых уставок с меньшими трудовыми и материальными затратами. Такие интеллектуальные автоматы производят наряду с прочими компаниями и ведущие электротехнические фирмы, в частности Schneider Electric выпускает автоматические выключатели серии Compact NSX.

Настройка тока срабатывания бывает полезна и в дневном режиме работы ИНО с «выключенным» светом и минимальным потреблением. Автоматическое уменьшение уставки тока после перехода на дневной режим работы позволит более точно и оперативно реагировать на короткие замыкания, возникающие в дневное время. Аналогичный вариант управления может быть принят и при переходе с вечернего на ночной режим освещения. При обратных переходах (на больший ток потребления) потребуются одновременная корректировка уставки тока. Эти процедуры могут производиться автоматически и даже с адаптивной подстройкой, поскольку известен или может быть измерен ток потребления в каждом режиме работы. Очевидно, что такой контроль позволит более уверенно выявлять место возможного

короткого замыкания, что, например, сложно сделать для ЛО большой протяженности.

В то же время применение современных драйверов, обеспечивающих независимость светового потока от напряжения питания, позволяет уйти от существующей жесткой регламентации величины падения напряжения в конце традиционной ЛО, определяемой требуемой равномерностью освещения. Поэтому при переходе на ИНО целесообразно пересмотреть нормы проектирования в сторону увеличения допустимой длины и уменьшения сечения проводов ЛО.

Существует также возможность повышения живучести ИНО за счет двустороннего питания ЛО от двух ПП, как это принято в сетях постоянного напряжения электротранспорта, но практически не реализуемо в сетях переменного напряжения. Двустороннее электропитание повысит живучесть ИНО при обрывах и позволит автоматически определять их местоположение. Например, ИНО с двусторонним питанием на вантовых мостах и тоннеле строящегося северного участка ЗСД (их общая длина — 1,5 км), а также на транспортном переходе через Керченский пролив (19 км) позволило бы довести процент горения практически до 100% при одновременном уменьшении количества электрических подстанций и ПП.

Характер изменения тока потребления традиционного ИНО и инновационного

ИНО в течение типового суточного цикла показан на рис. 1. В ИНО исключаются броски пускового тока, вызванные в традиционной схеме ИНО переходными процессами зарядки «косинусных» конденсаторов и работой импульсных зажигающих устройств ламп высокого давления (ЛВД). Кроме того, устраняется продолжительный (в течение нескольких минут) экстраток, требующийся для разогрева ЛВД, и вводится режим пониженного ночного потребления (до 50%). В то же время, для того чтобы обеспечить комфортную адаптацию зрения водителей автотранспорта при включении уличного светодиодного освещения в ИНО, можно и должно предусмотреть медленное нарастание светового потока, аналогичное естественному росту потока в ИНО с ЛВД, но с гораздо большей энергоэффективностью.

При выявлении ненормированного роста тока потребления возможен автоматический переход на программную стабилизацию тока потребления ЛО (с выдачей на светильники соответствующих команд управления), причем как в процессе плавного «включения», так и в установившемся режиме работы. Такой алгоритм позволит сократить количество аварий при включении ИНО и увеличить процент горения. Данная ситуация должна отображаться на дисплее диспетчера в качестве аварийного режима. По всей видимости, любое изменение светового потока (а также тока потребления) в ИНО следует производить плавно, в том числе и при выключении света. Режим «безударной коммутации» ИНО будет полезен и для сетей энергообеспечения.

Контроль потребляемого тока в ЛО позволит также осуществлять технический и коммерческий энергоучет легально подключенных потребителей и оперативно выявлять несанкционированные подключения к сетям ИНО. При непосредственном подключении потребителей к сетям ИНО (вне ПП) потребуются интеллектуальный счетчик электроэнергии, который мог бы передавать информацию в ПП по каналу, используемому для управления светильниками. Следует отметить, что приоритет в проведении изменений в ЛО с дистанционной настройкой тока защиты, а также в выполнении ряда других работ должен принадлежать районной службе эксплуатирующей организации, поскольку

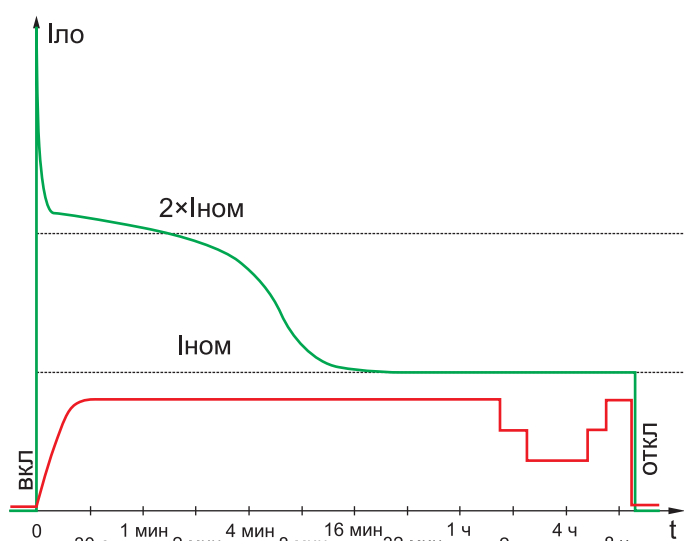


Рис. 1. Форма тока в традиционной ЛО (зеленый график) и в ЛО ИНО (красный). Масштаб по оси времени — логарифмический

ку центральная диспетчерская служба не должна, да и не сможет компетентно вмешиваться в означенные процедуры на уровне ПП и ЛО. В результате, наряду с другими вопросами, актуализируется необходимость введения многопользовательского управления в ИНО.

Особого рассмотрения заслуживает частный, казалось бы, вопрос гашения электрической дуги, возникающей при разрыве электрических цепей. Гашение дуги при переменном напряжении облегчается прекращением протекания тока после падения напряжения ниже критического значения, что приводит к быстрой деионизации разрядного промежутка. При постоянном напряжении гашение дуги в коммутационной аппаратуре обеспечивается различными способами, включая методы искусственной деионизации. Также используются тиристорные схемы бездугового гашения. Сложнее обстоит дело при возникновении дугового разряда после коротких замыканий или при пробоях изоляции. В этом случае в ИНО следует применять упомянутую выше настройку тока срабатывания автоматических выключателей. Существенно и то, что в современных сетях освещения широко применяются самонесущие изолированные провода (СИП), которые свели проблему коротких замыканий в сетях НО до мало-значимой.

Светильники ИНО должны иметь возможность осуществлять управление по проводному либо по беспроводному интерфейсу, для 4–5-кратной регулировки величины светового потока (обоснование приведено в работе [5]), обеспечивая включение и отключение света без снятия сетевого напряжения. Для проведения более полного контроля этот же двусторонний интерфейс должен обеспечивать диагностику состояния светильников (например, по току потребления) с подтверждением выполнения команд управления. Благодаря питанию постоянным напряжением драйвер светильника функционально упрощается, поскольку не требуется выпрямления, фильтрации и коррекции коэффициента мощности, ставшей с недавних пор обязательной в сети переменного напряжения. После получения команды отключения светильник должен переходить в режим минимального энергопотребления, обеспечивая при этом контроль наличия связи и выдачу диагностики по запросу.

Важным отличием мощных светодиодных светильников является группирование светодиодов в несколько линеек, поэтому в них легко реализовать резервирование, позволяющее сохранять светимость при одиночных неисправностях (что также должно стать предметом диагностики).

Необходимо отметить, что, несмотря на первенство светодиодных светильников по ряду характеристик, их конкурентная борьба с управляемыми светильниками на ЛВД, по гамбургскому счету, еще только начинается. Применение в светильниках с ЛВД современной электронной пуско-регулирующей аппаратуры позволяет получить требуемую кратность диммирования, повышенную надежность и увеличенный срок службы, а также устранить пусковые токи, что показано в работе [5]. Для упорядочивания этого процесса предстоит сформулировать требования ИНО к управляемым светильникам. Вполне вероятно, что в рамках победившей парадигмы ИНО на ряде объектов все же останутся ЛВД в составе «ретросистем» натриевого желто-оранжевого и металлогалогенного белого освещения.

Световой поток каждого управляемого светильника в процессе эксплуатации можно корректировать до номинального с учетом возможной деградации, загрязнения и дальнейшей очистки, выхода из строя отдельных светодиодов и пр. Чтобы объективно контролировать эту процедуру, следует проводить периодические объезды специальной светоизмерительной лабораторией. При этом адресная корректировка каждого светильника должна проводиться с помощью геопривязки характеристик освещенности дорожного полотна к соответствующей опоре.

Входной биполярный автомат защиты ПП не только выполняет приведенные выше функции интеллектуального автомата, но и может дополнительно включать в себя встроенный счетчик электроэнергии, поскольку в нем, по определению, должно происходить измерение питающего напряжения и тока нагрузки. В результате входная часть силовой схемы ПП существенно упрощается, поскольку в таком автомате защиты совместятся функции нескольких элементов ПП предыдущей технологии: входного рубильника, плавких вставок, электросчетчика и датчиков тока (токовых трансформаторов). Кроме того, в состав ПП, как уже было отмечено, не обязательно должны входить контакторы

вечернего и ночного режимов освещения, поскольку сеть ИНО рационально держать под напряжением постоянно. Для подсветки зданий и сооружений также не потребуется отдельной сети подсветки со своим контактором. Впрочем, в определенных случаях можно сохранить за интеллектуальными автоматами функции дистанционного отключения сети, алгоритм реализации которой требует отдельного обсуждения. При этом штатное дистанционное отключение ЛО следует проводить с предварительной минимизацией тока светильников, что существенно увеличит ресурс коммутационной аппаратуры.

Контроллер ПП ИНО может быть упрощен таким образом, чтобы за ним осталось лишь исполнение функций управления, сбора и передачи информации от интеллектуальных элементов ПП по последовательному каналу и от светильников по радиоканалу либо непосредственно по силовой сети. Такому контроллеру уже не придется обрабатывать большое количество аналоговых и дискретных сигналов для обеспечения проверки целостности предохранителей и измерения величин напряжений и токов сети, как это принято в традиционной автоматизированной системе управления наружным освещением (АСУНО). Однако дополнительные функции по обслуживанию интеллектуальных силовых элементов ПП и светильников потребуют функционального наращивания программного обеспечения (ПО) контроллера, а значит, и увеличения его вычислительной мощности. В качестве еще одной возможной дополнительной функции можно предложить, к примеру, поочередное (с небольшой задержкой) включение светильников вдоль основных проспектов города, что создаст показательный светодинамический эффект при еще более плавном изменении нагрузки, а также позволит простейшим способом организовать диагностику включения светильников.

Рассмотренные примеры показывают, что в ИНО должна полностью измениться идеология управления оборудованием ПП, которое будет состоять из интеллектуальных самодиагностируемых силовых модулей и контроллера, объединенных общим питанием и последовательным интерфейсом (например, CANopen, Modbus, Profibus и т. п.) либо единой информационно-питающей линией (типа

Power over Ethernet, PoE). Это приведет к существенному уменьшению трудоемкости монтажа, пусконаладки и ремонта, а также к повышению удобства обслуживания, благодаря использованию внешнего контрольного оборудования, подключаемого по этому же интерфейсу. Впрочем, такая технология управления уже давно применяется в автомобильной электронике. Сравнить ПП традиционной трехфазной системы НО и ПП ИНО можно на рис. 2 и 3. Возможность существенного наращивания количества автоматов защиты в ПП ИНО позволяет увеличивать число ЛО и обеспечивать легальное подключение внешних потребителей с индивидуальным контролем энергопотребления.

Диспетчерский пульт управления (ПУ) получит более надежную и скоростную связь с ПП по каналам связи «умного города» (скорее всего, волоконно-оптическим), что позволит пропускать существенно возросшие потоки информации. Дорогостоящий и малонадежный пульт индикации и управления (ПИУ), представляющий собой комплект специализированных телефонных модемов, будет заменен стандартным, высоконадежным резервируемым медиаконвертером.

Для связи ПУ с ПП допустимо также применять пакетную передачу по сотовым

сетям от 2-го до 4-го поколений (включая GPRS, EDGE, 3G и 4G).

Одной из наиболее сложных и важных задач создания ИНО является разработка обновленного ПО для распределенного диспетчирования. ПО должно предусматривать управление и контроль сотнями тысяч интеллектуальных светильников, выдачу объективных критериев работы оборудования, управление правами доступа, автоматизацию планирования работ по обслуживанию сетей, обеспечение централизованной дистанционной загрузки обновленного ПО светильников и ПП, технический и коммерческий учет электроэнергии, автоматизированное заполнение баз данных и конфигурирование, выпуск отчетов и т. п. Решение перечисленных задач требует создания дополнительных компьютеризированных рабочих мест в диспетчерской, в районных отделениях и в администрации эксплуатирующей организации.

Компьютеризация районных служб даст возможность предоставлять персоналу полную информацию и обобщенные критерии о состоянии эксплуатационного района НО, обеспечивать планирование работ по его обслуживанию и оценивать результаты, которые непосредственно сказываются на отчетных показателях. Так, опера-

тивное получение и доступность информации о событиях в НО, включая отказ (погашение) отдельных светильников, срабатывание защиты, снижение процента горения ниже нормативного, несанкционированное открывание двери ГПП, пропадание напряжения на подстанции и пр., станут важным подспорьем для улучшения работы районных служб и повышения качества городского освещения в целом.

Обобщая приведенное выше, следует отметить, что в ИНО будет замкнута обратная связь по управлению эксплуатирующей организацией, поскольку центральные технические службы смогут наблюдать за текущими процессами и просматривать, если потребуется, в хронологическом порядке события, произошедшие в течение суток, недели, месяца, года, чтобы не только контролировать реальное состояние освещения, но и выявлять тенденции в изменении качественных показателей НО. Кроме того, доступность объективных результатов работы районных служб будет способствовать здоровой конкуренции в организации.

Чтобы было удобнее обслуживать НО крупного города, имеет смысл организовать несколько диспетчерских (так, в Москве их количество равно числу эксплуатационных районов), которые смогли бы обеспечить взаимное резервирование.



Рис. 2. Пример современного трехфазного ПП НО

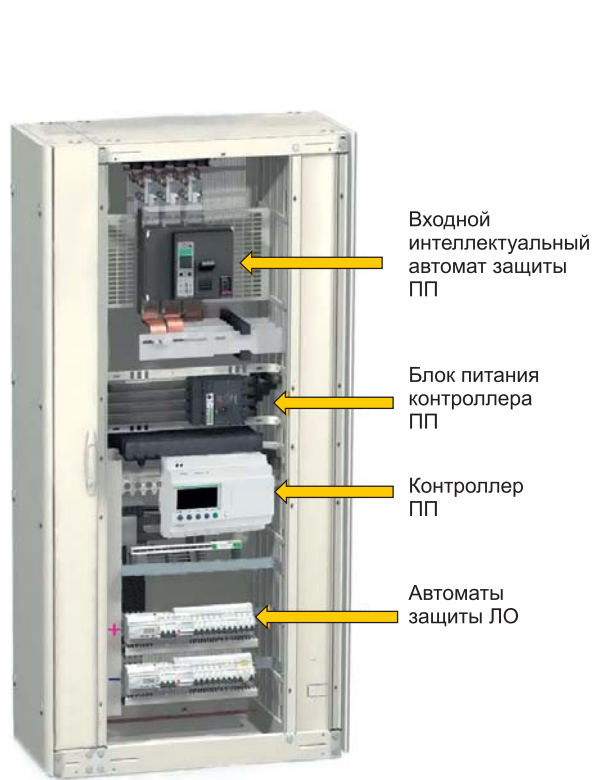


Рис. 3. Проект ПП ИНО

Дополнительные элементы ИНО

Лучшее — враг хорошего.¹
Из комментариев М. Джиованни
к «Декамерону» Д. Боккаччо

Ряд задач «служебного» характера, обеспечивающих повышение показателей качества ИНО и улучшение его обслуживания, требует введения дополнительных элементов ИНО.

Так, для обеспечения адресного обслуживания светильников необходима географическая привязка их местоположения к конкретной опоре НО с возможностью отображения на карте города. При этом заполнение баз данных светильников следует автоматизировать, поскольку выполнение такой работы вручную будет весьма трудоемким и неизбежно приведет к появлению ошибок, которые довольно трудно выявлять и корректировать, что может вызвать недостоверность и, следовательно, привести к невостребованности этого полезного ресурса.

Казалось бы, задача привязки проще всего автоматизируется путем размещения датчиков геолокации (микросхем для приема сигналов GPS/ГЛОНАСС/Galileo) в каждом светильнике. Однако предварительный экономический расчет показывает, что в нашем случае более выгодный вариант — считывание идентификационной метки светильника (двумерного матричного кода) сканером (2D-bar code scanner). Такой сканер, имеющий геодатчик и GSM-приемопередатчик, обеспечит автоматизированное оперативное занесение информации о светильнике в базу данных системы с привязкой к конкретной опоре ЛО, с немедленным отображением на дисплее в диспетчерской, что обеспечит также оперативный и достоверный контроль монтажа. Аналогичная маркировка может наноситься также на другое стационарное и перемещаемое оборудование, включая ПП, опоры освещения, автовышки и пр. Применение оптического считывания маркеров является наиболее универсальным методом вследствие упрощенного их нанесения на различные объекты, для которых может потребоваться учет в базе данных ИНО. При этом метка может содержать и техническую информацию

об объекте. Заметим, что роль сканера вполне способен выполнить и современный смартфон со встроенными фотокамерой и геодатчиком. Такой способ геопривязки уже опробован в зарубежных системах управления НО.

Датчики интенсивности дорожного движения могут быть востребованы для адаптивного управления, поскольку в нормативных документах на НО определено, что при уменьшении количества проезжающего в единицу времени автотранспорта в 3 и 5 раз допускается снизить освещенность дорог на 30 и 50% соответственно. Эти датчики допустимо как автономно подключать к питающей сети при наличии отдельного канала связи с ПП, так и встраивать в светильник. Информацию об интенсивности движения автомобилей можно получать и от городской интеллектуальной транспортной системы (ИТС), если с нею организована связь. Такой метод управления поможет сэкономить еще до 10% энергии по сравнению с методом простого программно-временного диммирования. Кроме того, можно использовать информацию о дорожно-транспортных происшествиях (ДТП) и коммунальных авариях, при которых потребуются адресное увеличение освещенности мест проведения аварийно-спасательных и восстановительных работ. Аналогичное интеллектуальное управление будет полезно при проведении массовых гуляний, салютов и других мероприятий.

В современных автоматизированных ПП применяются различные служебные датчики, оповещающие об открытии двери, о задымлении, о величине температуры, об уровне воды в приемке и т. п. Очевидно, что наиболее рационально подключать их в интеллектуальном ПП, соединяя с контроллером по последовательному каналу. Это повышает уровень унификации, минимизирует количество и тип соединений, упрощает монтаж, автоматизирует конфигурирование и позволяет внедрять новые типы датчиков.

Датчики освещенности целесообразно применять в некоторых специализированных системах НО, например в тоннелях, где необходимо плавное изменение освещенности на въезде и выезде, причем как в ночное, так и в дневное время. Очевидно, что контрол-



Рис. 4. ДТП с наездом на опору НО в ночное время с нарушением равномерности освещения

леру ПП стоит взаимодействовать с такими датчиками по тому же интерфейсу, что и со светильниками.

Интересную возможность контролировать состояние опор освещения и светильников можно получить в случае применения датчика наклона (двухосевого инклинометра). Это позволит контролировать отклонение положения светильника от штатного как в процессе монтажа, так и во время эксплуатации, что особенно актуально при наездах автотранспорта на опоры (рис. 4), которые случаются достаточно часто. Кроме того, полезно установить датчик наклона в тех случаях, когда могут происходить нарушения тросового крепления (рис. 5) и любые другие изменения положения светильников, вызывающие отклонения от нормативов освещенности дорожного полотна. Индикация существенного наклона опоры поможет более оперативно оповещать ремонтные бригады, а также принимать решения об отключении напряжения в сети в опасных ситуациях. Современный инклинометр (он же — акселерометр) представляет собой недорогую малогабаритную полупроводниковую микросхему. Его можно размещать непосредственно на печатной плате драйвера светильника.



Рис. 5. Светильник на тросе

¹ Эту фразу очень любил С. П. Королев, ее англоязычная версия perfectionism can be counter-productive (перфекционизм может быть контрпродуктивным).



Рис. 6. Падение опоры НО на троллейбусные провода в дневное время

Инклинометр сумеет зафиксировать раскачивание светильников и вибрации опор, возникающие под действием порывов ветра и ударных ветровых нагрузок при проезде крупных автомобилей, а также вследствие качания разводных пролетов мостов. Экстремальные воздействия такого рода могут вызывать разрушение опор (рис. 6), нарушение креплений светильников (рис. 7) и даже их падение, что периодически наблюдалось, например, на Володарском мосту в Санкт-Петербурге до его реконструкции в 2008 г. Отметим, что для фиксации нарушений, аналогичных показанному на рис. 7, потребуется уже трехосевой инклинометр.



Рис. 7. Разворот светильников после урагана на трассе А-121

Сопряжение ИНО с системами «умного города»

Сколь бы сложной ни казалась проблема на первый взгляд, она, если правильно к ней подойти, окажется еще более сложной.

Пол Андерсон

Предполагаются два вида взаимодействия с системами «умного города». Первый — применение общих каналов связи, энергоснабжения, технического обслуживания, обмена информацией и т. п. Второй — использование сети ИНО в качестве удобной среды для подключения различных элементов систем «умного города» для минимизации затрат. Действительно, создавая постоянно работающую (в том числе в дневное время) сеть ИНО со стабильным энергоснабжением, охватывающую весь город и имеющую надежные информационные каналы, было бы неразумно не использовать ее для поддержки других систем «умного города», которые могут создаваться в интересах различных городских и коммерческих структур, а также самих горожан.

Возможные варианты подключения к ИНО элементов систем будущего «умного города» можно условно разбить на несколько функциональных групп.

I группа — подключение различных датчиков состояния окружающей среды, таких как метеодатчики (температуры, давления, влажности, осадков, скорости и направления ветра и т. п.), датчики температуры дорожного полотна, датчики качества воздуха и пр., которые могут использоваться в интересах ИТС, метеорологии, защиты окружающей среды и т. п.

II группа — подключение элементов систем видеонаблюдения с возможностями персональной идентификации, датчиков охранной сигнализации, тревожных кнопок и даже датчиков фиксации стрельбы из огнестрельного оружия (как было предложено в одном из проектов компании GE для г. Детройта в 2015 г.), что может представлять интерес для служб, занимающихся общественной безопасностью.

III группа — подключение интеллектуальных автомобильных парковок (Smart Parking), различного рода информационных и рекламных табло, а также «умных» остановок с информированием пассажиров о времени прибытия общественного транспорта.

IV группа — сбор информации персональными биометрическими датчиками (Body Area Network, BAN) и оперативная передача ее в органы здравоохранения.

V группа — подключение к ПП и подстанциям интеллектуальных заправок и стоянок электромобилей, электровелосипедов, моноколес, а также различных гаджетов, причем оплата может производиться без использования бумажных денег и электронных карт.

VI группа — обслуживание стоянок арендуемых велосипедов.

VII группа — подсоединение средств контроля за объектами городского хозяйства.

VIII группа — подключение базовых станций сотовой связи для обеспечения быстрого выхода в Интернет, для связи с системами «умного города» и т. д.

Совершенно очевидно, что ИНО способен стать одной из важных составляющих инфраструктуры «умного города».

Сопряжение ИНО с системами энергоснабжения

Поскольку система ИНО как потребитель электроэнергии связана с системами энергообеспечения, то и ее интеграция в «умный город» наиболее естественно произойдет совместно с интеллектуализацией городской энергетики — внедрением «умной энергосети» (Smart Grid).

Действительно, ПП НО расположены, как правило, в непосредственной близости от городских трансформаторных электроподстанций (10/0,4 кВ). Комплексная совместная автоматизация подстанции и питающегося от нее НО позволяет использовать общие высоконадежные и дублированные каналы связи, что будет хорошим прецедентом создания фрагмента городской Smart Grid. Взаимодействие ИНО с интеллектуальной энергосетью будет способствовать дальнейшему прогрессу «умного города», обеспечив его системы каналами электропитания и связи.

Кроме того, весьма важным для ИНО, как уже было отмечено, является размещение силового выпрямителя непосредственно в подстанции.

Стандартизация связи со светильниками

Среди всех разнообразных вариантов удаленного управления светильниками стоит выделить несколько наиболее часто используемых. Из различных вариантов

проводной связи в области управления освещением наиболее широко известна система DALI, однако для ИНО она, скорее всего, не будет широко применяться из-за того, что потребуются прокладывать дополнительные провода.

Беспроводной радиоканал малой мощности (Low Power Wide Area Network, LPWAN) разных модификаций активно используется для управления различными объектами и контроля за ними. Многие варианты LPWAN подойдут для работы в ИНО, в том числе 6LoWPAN, ZigBee, Xbee, Bluetooth, Econex Smart, Z-Wave, EnOcean, LoRaWAN, Weightless, DSRC, SigFox, LTE-Cat M, IEEE P802.11ah (low power Wi-Fi), Dash7, Ingenu RPMA, nWave. При их совмещении с ИНО может потребоваться исполнение прикладных программ с целью преобразования специфичного трафика беспроводной сети для отправки данных в канал связи с диспетчерской. Предлагаются также варианты «упрощенного» совмещения, при которых управление светильниками выделяется в отдельную подсистему, не зависящую от управления ПП, т. е. фактически происходит разделение ИНО на две относительно самостоятельные системы.

Связь по силовой сети (Power Line Communication, PLC) может оказаться наиболее предпочтительной для управления светильниками, поскольку в качестве среды передачи используется собственная изолированная и контролируемая силовая сеть ИНО. По сравнению с радиоканалом в PLC затруднена возможность внешнего вмешательства в управление, что немаловажно для системы, обеспечивающей жизнь города в темное время суток. За два последних десятилетия были разработаны несколько PLC-протоколов в основном закрытого характера (X-10, SEBus, LonWorks, Hidden Energy Protocol и др.). В последние годы чаще стали применять открытые стандарты PLC, такие как G3 PLC и Prime.

Многoletний опыт работы с каналом PLC в АСУНО «АВРОРА» показывает, что для обеспечения оперативной и бесперебойной связи требуется провести исследование и контроль характеристик сети как среды передачи информации, а также нормирование электромагнитной совместимости всех потребителей, включая драйверы светильников. В разрабатываемой сети постоянного напряжения эти нормы

необходимо закладывать изначально, причем должны быть проработаны способы защиты от возможных помех. В традиционной осветительной сети переменного напряжения с ЛВД основной проблемой для PLC является наличие косинусных конденсаторов, из-за чего требуется большая мощность сигнала PLC. В современных сетях освещения возникает и другая проблема — помехи, создаваемые высокочастотными корректорами коэффициента мощности драйверов светильников. В сети постоянного напряжения обеих этих проблем нет по определению, что дает дополнительное преимущество этой технологии связи.

В такой довольно неопределенной ситуации представляется целесообразным реализовать унифицированное подключение PLC-модема либо радиомодема к драйверу светильника. Это создаст в ИНО конкурентное поле, и заказчик (проектировщик) сможет выбрать одно из решений по связи и обеспечить возможность его дальнейшей модернизации. Такой подход будет оптимизированным в соответствии с принятыми выше принципами открытости, вариативности и модернизируемости. Кроме того, его стоит применять и в других системах «умного города».

Оригинальное инфраструктурное решение по связи анонсировала компания Philips. Она предложила разместить на опорах ИНО базовые приемо-передающие станции сотовой связи. Установка SmartPole Street Lighting, разработанная совместно с компанией Ericsson, поддерживает стандарт соединения 4G LTE (Long Term Evolution). Она выполнена в виде опоры для светодиодного освещения с увеличенным диаметром. В ближайшее время на улицах Лос-Анджелеса должны появиться первые 100 таких опор. В случае удачного тестирования их количество планируется увеличить.

Стандартизация напряжения питания

Уже сейчас, в самом начале реализации первых пилотных проектов ИНО, наблюдается большое разнообразие напряжений питания. При этом величины используемых напряжений отличаются от стандартных значений в давно эксплуатируемых сетях постоянного напряжения городского электротранспорта (трамвайные и троллейбусные сети, метро).

Биполярные сети электропитания центров обработки данных (± 190 В), скорее всего, послужат ориентиром для внутренних сетей интеллектуального освещения зданий. При этом внутрикомнатное управляемое светодиодное освещение может быть реализовано на базе сетей с напряжениями питания 24 и 48 В с управлением по технологии PoE (Power over Ethernet). Для протяженных и мощных сетей городского освещения необходимо более высокое напряжение питания — около ± 350 В. А для еще более мощных сетей освещения тепличных хозяйств напряжение может составлять ± 700 В. Эти решения опробованы на пилотных проектах в Нидерландах (см. ниже).

Необходимо отметить, что в линиях электропередачи высоковольтное биполярное напряжение все более широко используется при передаче на большие расстояния, в том числе и по кабельным линиям. Среднее (однополярное) постоянное напряжение до сих пор применялось практически только в тяговых сетях железных дорог.

Видимо, в разных регионах переход на сети постоянного напряжения будет осуществляться и неодинаково, и неоднозначно. В современном глобальном мире хочется видеть более здоровый подход к стандартизации в сетях постоянного напряжения, отличный от подхода к стандартизации в сетях переменного трехфазного напряжения в начале XX века. В настоящее время этот процесс находится еще в самом начале — только в октябре 2015 г. прошла первая международная конференция по низковольтным сетям постоянного напряжения под эгидой Бюро стандартов Индии.

Что же касается российских стандартов, то установленные в ГОСТ 29322-92 (МЭК 38-83) предпочтительные номинальные величины постоянного напряжения в 220 и 400 В носят в большей степени декларативный характер, поскольку пока не получили широкого распространения.

Пилотные проекты — прототипы ИНО

Знание... никогда не должно становиться поводом для остановки с целью обретения некоей уверенности.
Эрих Фромм. Иметь или быть

К прототипу будущей парадигмы ИНО ближе всего подошли уже упомянутые проекты

DC Foundation (Нидерланды) по городскому и тепличному освещению.

Первый проект — инновационное ИНО на биполярной сети постоянного напряжения ± 350 В с управляемыми по PLC светодиодными светильниками. В нем реализовано диспетчерское управление яркостью светильников с возможностью использовать датчики движения, освещенности и погоды. Декларировано подключение к ИНО подсистемы информирования пассажиров городского общественного транспорта (с управлением табло на остановках), а также использование солнечных батарей с аккумуляторными накопителями.

Второй проект — инновационное тепличное освещение на биполярной сети постоянного напряжения ± 700 В с управляемыми по PLC светильниками на натриевых ЛВД.

Подробное описание этих проектов приведено в работе [6].

В качестве наиболее значимых преимуществ авторы проектов выделяют следующие:

- Экономия электроэнергии на уличное освещение до 50%.
- Уменьшение количества сетевых проводов, расхода изоляционных материалов и цветных металлов.
- Более простые и надежные драйверы светильников для сети постоянного напряжения, не имеющие в своем составе электролитических конденсаторов.
- Минимизация сетевых помех и отсутствие «косинусных» конденсаторов, что позволяет упростить и удешевить реализацию PLC.
- Круглосуточный контроль оборудования без коммутации сети освещения контакторами при малом энергопотреблении драйверов в ждущем режиме (не более 1 Вт), отсутствие плавких предохранителей.
- Возможность увеличения протяженности ЛО до 3 км и более за счет снижения энергопотребления, пусковых токов, потерь в сети, и расширения диапазона питающего напряжения драйверов, что позволяет также уменьшить количество ПП в сети городского освещения.

Отдельно следует отметить, что в нидерландском проекте ИНО применены светильники на светодиодных матрицах (Chip-on-Board, CoB) и секционированных асимметричных отражателях (рис. 8). Они обладают уменьшенной блескостью и обеспечивают необходимое светораспределение. Драйверы светильников размещаются



Рис. 8. Инновационное LED-освещение с размещением драйвера светильника в опоре

в нижней части опоры и имеют внешнюю защиту от перенапряжения. Их обслуживание осуществляется одним-двумя монтажниками на индивидуальном транспорте (велосипеде, мотоцикле) вместо бригады из трех человек на автовышке.

Входящая в DC Foundation компания Lumixt прорабатывает перспективные проекты освещения различных объектов, в т. ч. проект освещения автострад с увеличенной до 10 км протяженностью ЛО. Реализация такого проекта позволила бы, к примеру, запитать системы освещения, связи и ИТС Керченского транспортного перехода всего от 3 береговых подстанций (п-ов Керчь, п-ов Тамань, о. Тузла) вместо 6–7 подстанций, некоторые из которых придется размещать в местах, не самых удобных для обслуживания.

Еще один прототип ИНО может появиться в результате отечественных разработок перспективного светосигнального освещения (ССО) для аэропортов, включая освещение их взлетно-посадочных полос (ВПП). Системам ССО в XX веке необходимо было сохранять одинаковую светимость в широком диапазоне регулирования, и потому они строились на цепочке последовательно включенных трансформаторов, к вторичным обмоткам которых подключались низковольтные галогенные лампы накаливания. В результате управления величиной высоковольтного (до 5 кВ) напряжения, питающего такую линию,

и происходит регулирование яркости ламп в широком диапазоне, что обеспечивает различимость ВПП при заходе на посадку в различных метеоусловиях. Нарботка на отказ такой линии ССО не превосходит нескольких тысяч часов, даже без учета выхода из строя отдельных ламп.

Очевидно, что применение управляемых светодиодных огней с питанием от сети постоянного напряжения поможет переформатировать ССО в систему с повышенными энергоэффективностью, надежностью и живучестью, отвечающую высоким международным требованиям безопасности полетов. Но для реализации этого потребуются специфические решения на системном уровне и на уровне компонентов, включая различные варианты резервирования. Модернизацию системы ССО аэропортов рационально проводить в рамках их реконструкции, для чего необходимо учесть ее в инновационной программе ФГУП «Администрация гражданских аэропортов».

На примере этих пилотных проектов хорошо видны сложности конкурентного репозиционирования создаваемой технологии ИНО. Согласно работе [7], для такой кардинальной инновации требуется не столько активно ее популяризировать, сколько донести до основных потребителей (эксплуатирующих организаций) и до главных выгодополучателей (муниципальных властей, крупных фирм и пр.) все «долгоиграющие» преимущества технологии ИНО.

Итоги

*Призрак бродит по Европе...
Из Манифеста
коммунистической партии?*

*План, что и говорить, был
превосходный:
простой и ясный, лучше
не придумаешь.*

*Недостаток у него был только один:
было совершенно непонятно,
как привести его в исполнение.*

Льюис Кэрролл. Алиса в стране чудес

В настоящее время происходят кристаллизация основных положений концепции ИНО с использованием сетей постоянного

² Рукопись Манифеста в 2013 г. включена в реестр ЮНЕСКО «Память мира» (UNESCO Memory of the World Register). Графологическая экспертиза показала, что первые две строки рукописи были написаны рукой Женни Маркс (урожденной баронессы фон Вестфален).

напряжения и ее первые воплощения в виде пилотных проектов. Примечательно, что в своем наиболее радикальном виде концепция ИНО не включает в себя ни одного компонента современных систем ИНО в неизменном виде. Это означает, что начался многоэтапный и многосложный процесс закрепления технологии ИНО сначала в умах разработчиков, проектировщиков и потенциальных «заказчиков», а затем — в «железе», с отработкой деталей на пилотных проектах. Самым успешным проектам ИНО будет суждено составить основу новой парадигмы, которой и предстоит завоевывать открытые городские пространства.

Становится все более очевидным, что отечественная отрасль ИНО находится, словно витязь на распутье, перед весьма непростым выбором одного из трех путей. Действительно, многие привлекательные, на первый взгляд, инновации чаще всего носят фрагментарный характер, не дают существенного эффекта, а иногда вообще заводят в тупик. Так, популярный «энергоэффективный» метод управления, заключающийся в переключении обмоток автотрансформаторов для традиционного освещения на ЛВД, недавно был вообще запрещен в ряде стран. В то же время попытка выхода из тупиковой ситуации путем стимулирования разработки революционной технологии ИНО с преимуществами, которые ясны пока лишь искушенным профессионалам, многим кажется затратным мероприятием с непонятными перспективами.

Возможен также выбор третьего пути — ожидание стратегической осветительной инициативы от мировых светотехнических гигантов, которые будут вынуждены заняться этой глобальной ниспровергающей инновацией и предъявят, в конце концов, миру собственные версии ИНО. Очередное активное лоббирование локализации производства одной из таких новоявленных систем в России или ее копирование лишь закрепит позицию отстающего в фарватере мирового светотехнического прогресса.

Достигнутая степень проработки концепции ИНО, наличие успешно функционирующих АСУНО отечественной разработки во всех крупных городах России и понимание состояния научно-технического задела по основным направлениям дальнейшего развития ИНО позволяют считать такую пассивную позицию ошибочной.

Решая аналогичную «трилемму Мюнхгаузена», Ханс Альберт пришел к выводу [8], что не стоит оглядываться в поисках непререкаемой аргументации, а нужно двигаться вперед, просчитывая все возможные последствия каждого практического шага, — только так можно преодолеть состояние недообоснованности (non-justificationalism) и недеяния.

Современные российские реалии не позволяют рассчитывать, что многогранный проект ИНО будет подвластен «невидимой руке рынка». В то же время и существующий порядок госзакупок не способствует, мягко говоря, поддержке в создании наукоемкой продукции. Невозможно также полагаться на патернализм отечественных госструктур и крупных компаний, инновационные устремления которых пока еще в большей степени сконцентрированы в сферах добычи, генерации, транспортировки и распределения энергоресурсов, а не на потреблении. За рубежом «патернализм» государства зачастую приносит весьма противоречивые результаты другого рода, в чем можно убедиться, ознакомившись с рядом проектов твердотельного освещения (Solid State Lighting, SSL), курируемых Министерством энергетики США. Что касается модного нынче способа решения вопросов энергоэффективности с помощью энергосервисных контрактов, то, скорее всего, его механизм можно будет эффективно запустить на завершающей стадии внедрения ИНО, после отработки всех вопросов в рамках пилотных проектов.

Успешный пример реализации программы «Светлый город» в Санкт-Петербурге в конце 1990-х гг., а затем и в ряде других городов мог бы вселить надежду на воплощение аналогичной гипотетической программы по созданию ИНО. Назовем ее условно «Светлый город+». Однако реальных предпосылок для возможного старта подобной инициативы пока не наблюдается. Видимо, ни одна из международных и отечественных организаций, имеющих хотя бы какое-то отношение к инновациям в ИНО, в частности «Международное сообщество городского освещения», DOE Municipal Solid-State Street Lighting Consortium, «Союз электросетевых компаний», «Ассоциация производителей светодиодов и систем на их основе», «Союз российских городов», «Ассоциация производителей светотехнических изделий «Российский свет» и др., не рискнет взять

на себя функции заказчика, готового сформировать техническое задание на проект ИНО, не говоря уже о том, чтобы отслеживать его поэтапное выполнение. Существует, конечно, небольшая вероятность того, что в российских условиях за проект ИНО решит взяться крупная отечественная светотехническая или ИТ-фирма. Однако гораздо более реальным представляется, что такой комплексный проект был бы по силам ассоциации заинтересованных производителей составных частей ИНО с задействованием частного-государственного партнерства. Одной из важнейших задач этой ассоциации должно стать такое ведение проекта ИНО, которое обеспечило бы, наряду с открытостью, вариативностью и модернизируемостью, также и конкурентоспособность на всех этапах разработки от принятия основных положений и определения требуемых технических характеристик компонентов до выбора изготовителей и поставщиков.

Решение этой непростой комплексной задачи потребует, перефразируя классика российского революционного движения, формирования рабочих групп непредубежденных профессионалов, готовых двигать парадигму (paradigm shifters). В первую очередь, им следует определиться по ключевым вопросам концепции в под областях светотехники, телекоммуникации, электротехники, электроники и ПО, «не поддаваясь искушению сделать ее удобоваримой для общества, а значит, фальсифицировать» [9]. В дальнейшем предстоит осуществить отладку принятых решений по оборудованию и ПО, а также пилотных проектов, организовать сначала поэтапное внедрение ИНО в Санкт-Петербурге и в других крупных городах, а затем реализовать расширение и продвижение ИНО по ряду городов России — «такова задача, требующая искусства и тройной смелости» [10].

Естественно, инициативные рабочие группы должны получить возможность «управления течением мысли в (этих) конкретных направлениях» [11], что потребует непростых организационных усилий на отраслевом и государственном уровнях, поэтапной теоретической проработки, последовательного практического воплощения и обеспечения дальнейшего развития вплоть до уровня региональной или даже федеральной целевой программы. В противном случае «скудость

мысли породит легионы единомышленников» [12], нацеленных на простые, понятные и быстро приносящие прибыль решения, которые могут создать труднопреодолимые завалы на пути к достижению нужного результата. ●

P.S. Сделать все, что известно, и испробовать все неизвестное: ни один шанс не должен быть упущен!

**Льюис Кэрролл.
Охота на Снарка**

Литература

1. Molony R. LED inventor bets on lasers to replace LEDs / Lux Review. 2016. 24 February. <http://luxreview.com/article/2016/02/led-inventor-bets-on-lasers-to-replace-leds?cmpid=LUXproducts02252016>
2. Маркидес К., Героски П. Искусство быть вторым. М.: Вершина, 2006.
3. Зотин О. Технологии автоматизации в энергоресурсосберегающих сетях освещения // Современные технологии автоматизации. 2012. № 4.
4. Зотин О. В преддверии возрождения постоянного тока // Силовая электроника 2013. № 446.
5. Зотин О. Управление городским освещением. От ретроспективы к перспективе. Часть 2. Управление электрическим светом // Control Engineering Россия. 2015. № 5.
6. Зотин О. Сети освещения на постоянном напряжении в Нидерландах // Полупроводниковая светотехника. 2015. № 4.
7. Trout Jack, Ries Al. Positioning — The Battle For Your Mind / Траут Дж., Райс Эл. Позиционирование — борьба за узнаваемость. Питер, 2002.
8. Albert H., Popper K. Briefwechsel 1958–1994 (Letters from and to Karl Popper). M. Morgenstern and R. Zimmer. 2005.
9. Фромм Э. По ту сторону порабощающих нас иллюзий. М. АСТ. 2010.
10. Советы постороннего // Правда. 1920. № 250.
11. Выступление М. Ковальчука на заседании совета по науке и образованию при Президенте РФ. 2016. 21.01 (<http://kremlin.ru/events/councils/by-council/6/51190>)
12. Довлатов С. Соло на ундервуде. М. Азбука. 2003.