

Олег Зотин

Интеллектуальное наружное освещение. От замысла через концепцию к парадигме. Часть 1

- ▶ Предпринята попытка возможно более точного определения основных положений концепции интеллектуального наружного (городского) освещения для реализации пилотного проекта в условиях Российской Федерации.



*...Некоторые опрометчивые суждения
отвращают нас от истинного познания
и владеют нами настолько,
что освободиться от них мы,
по-видимому, можем не иначе, как
решившись хотя бы раз в жизни усомниться
во всем том, по поводу чего
обнаружим малейшие подозрения
в недостоверности.*

**Р. Декарт. Первоначала философии.
Об основах человеческого познания**

Вступление

Малосущественный, казалось бы, для светотехники наружного освещения (НО) вопрос автоматизации, носивший на протяжении длительного времени сугубо вспомогательный практический характер, постепенно превратился в весьма важную составляющую НО, сильно повлиявшую на его основные показатели и постепенно изменившую бытовавшие представления обо всех его составных частях и о НО в целом. Если первоначально автоматизация использовалась для облегчения (а затем и замены) труда фонарщиков, то в дальнейшем на нее возлагались все более сложные задачи, связанные с дистанционным управлением силовым оборудованием сетей НО и его диагностикой, контролем энергопотребления и энергосбережением, автономным автоматическим управлением, аварийной сигнализацией и т. п.

В наше время концепция интеллектуального НО (ИНО) должна ознаменоваться уже всеобъемлющим проникновением автоматического управления во все его элементы (включая светильники, элементы силового оборудования и собственно сети), с неизбежным их преобразованием, глубина которого будет определяться не столько широчайшими возможностями современной полупроводниковой электроники, сколько конкретной выгодой, которую можно получить от такой трансформации. Подстегивающим фактором, подтолкнувшим созревание концепции ИНО, выступил стремительный прогресс светодиодного освещения, который внес дополнительные преимущества по сравнению с традиционным НО на натриевых светильниках. Независимо от этого была сформулирована и обоснована необходимость построения ИНО на сетях постоянного напряжения [1]. В результате, довольно неожиданно для большинства специалистов, появилось предложение по коренному преобразованию

НО путем синтеза и гармонизации означенных концептов. Другими словами, создалась основательная предпосылка для замены устаревшей парадигмы¹ НО с нерегулируемыми лампами высокого давления на инновационную парадигму ИНО. Поскольку интеллектуализация НО является естественным продолжением его автоматизации, то стоит рассмотреть этапы ее развития, начиная, по крайней мере, со старта электротехнической революции.

Из истории автоматизации наружного освещения. Появление дистанционного управления

Первоначально, после триумфальной победы накаливаемого электрического освещения над газовым, системная автоматизация была на самом примитивном уровне, который заключался в групповом включении/выключении светильников линий освещения (ЛО). Этим занимались электрики, вручную управляясь с рубильниками в пунктах питания НО (ПП), которые получали электроэнергию от подстанций городской электросети.

Характерно, что уровень автоматизации в «побежденной» технологии газового освещения был даже несколько выше, поскольку управление светом газовых фонарей осуществлялось централизованно, простым изменением давления светильного газа в питающем газопроводе. Утром гашение фонарей обеспечивалось сбросом давления светильного газа ниже порогового уровня, в результате чего специальные регуляторы в каждом светильнике отсекали подачу газа на его основные горелки. Пониженного давления светильного газа хватало для горения крохотных запальных огоньков, которые и обеспечивали поджиг основных горелок при восстановлении давления, производимом на закате солнца. В ретросистемах газового освещения, доживших до нашего времени, например, в таких как мини-система освещения памятника Н. М. Пржевальскому в Александровском саду в Санкт-Петербурге, этот принцип управления сохранился именно в таком виде.

Электрические сети наружного освещения с началом экономического подъема



Рис. 1. Современное освещение Нью-Йорка (2012)

после Первой мировой войны начали стремительно разрастаться, вытеснять с улиц и площадей городов газовые и керосиновые светильники. Для эксплуатации НО начали образовываться электросетевые предприятия. Городское освещение стало быстро превращаться в явление планетарного масштаба, которое могло наблюдаться с огромного, поистине космического расстояния (рис. 1), а с по-

явлением управляемой световой рекламы превратилось в каком-то смысле в показатель уровня развития человеческой цивилизации.

Отечественные писатели так отразили свои впечатления об освещении центральных улиц Нью-Йорка в начале 1930-х годов: «Здесь электричество низведено (или поднято, если хотите) до уровня дрессированного животного в цирке. Его заставили кривляться, прыгать через препятствия, подмигивать, отплясывать. Спокойное эдисоновское электричество превратили в дуровского морского льва. Оно ловит носом мячи, жонглирует, умирает, оживает, делает все, что ему прикажут. Электрический парад никогда не прекращается. Огни реклам вспыхивают, возвращаются и гаснут, чтобы сейчас же снова засверкать; буквы, большие и маленькие, белые, красные и зеленые, бесконечно убегают куда-то, чтобы через секунду вернуться и возобновить свой неистовый бег» [2].

Появление электросетевых предприятий высветило необходимость перехода городского электрического освещения на централизованное управление. Для этого в состав ПП были введены контакторы, осуществляющие коммутацию ЛО. Подача напряжения (выдача «приказов») на обмотки контакторов ПП, близко расположенных к диспетчерскому пункту электросетевого предприятия, так называемых «головных» ПП (ГПП) осуществлялась непосредственно от пульта диспетчерского управления (ПУ) (рис. 2а). С подключением по цепочке обмоток контакторов

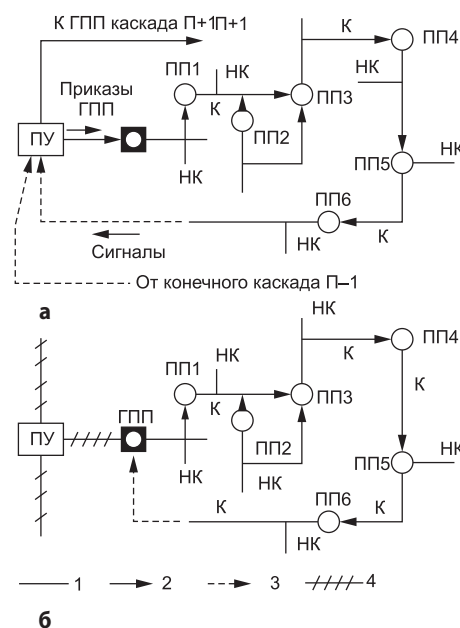


Рис. 2. Варианты управления:

а) дистанционное; б) телеуправление:

- 1 — линия освещения, 2 — «толкающая линия», 3 — «обратные» провода, 4 — линии телеуправления

¹ Парадигма (от греч. *παράδειγμα*, «пример, модель, образец») — совокупность фундаментальных научных установок, представлений и терминов, принимаемая и разделяемая научным сообществом и объединяющая большинство его членов (Энциклопедия эпистемологии и философии науки).

«нижестоящих» ПП к ЛО «вышестоящих» ПП образовались так называемые «каскады», которые полностью исключили перебежки электриков от одного ПП до другого при заходах и восходах солнца. Для контроля включения всех контакторов в каскаде использовались специальные «обратные» провода, прокладываемые от конца линий освещения последних ПП в каскаде до ПУ. В некоторых небольших городах такая структура сетей НО сохранилась до новейшего времени.

Переход на телеуправление НО

Прошлое может многое сказать о настоящем не потому, что похоже на него, а потому, что в нем заметнее вечное.
Л. Юзефович. «Зимняя дорога»

В крупных городах прокладка проводов управления и контроля, находящихся под сетевым напряжением, вызвала определенные затруднения. Кроме того, из-за большого числа ПП, последовательно соединенных в каскаде, могло происходить отключение целых районов при одиночных неисправностях в «толкающих» цепях или в контакторах, вероятность чего возрастала с увеличением размера города и ростом количества ПП в каскаде. Менее затратный, более безопасный и надежный способ управления, заключающийся в подаче низковольтных сигналов телеуправления (рис. 2б), был предложен в 1930-х годах.

Первым мегаполисом, для которого была разработана такая система, стала Москва. Характерно, что реализация инновационного управления шла параллельно с модернизацией НО, которая заключалась в замене старых типов светильников (типа «зонтичных», представленных на рис. 3), создающих большую неравномерность освещения дорожного покрытия, на светильники с зеркальными отражателями (аналогичные современным светильникам, показанным в начале статьи). Новые светильники имели кривую силы света (КСС) типа Ш (широкую) и благодаря этому обеспечивали гораздо лучшую равномерность освещения дорог при больших расстояниях между опорами НО. Настоятельная необходимость такой комплексной модернизации была вызвана интенсивной автомобилизацией страны



Рис. 3. Зонтичный светильник

и активизацией дорожного движения в столице в темное время суток.

Телеуправление ПП в системе НО Москвы осуществлялось по выделенным (постоянно подключенным) линиям городской телефонной сети (так называемым «телефонным парам»). Этот был единственно



Рис. 4. Пульт телеуправления НО Москвы, конец 1930-х годов (музей «Огни Москвы»)



Рис. 5. Релейно-транзисторный пульт управления НО на 10 ПП (разработка 1972 г.)

возможный проводной канал связи в то время. В ПП были установлены приборы релейной автоматики для управления обмотками контакторов, которые коммутировали сетевое напряжение на ЛО. Система обеспечивала одновременное включение и выключение всех светильников крупного города по командам созданного для нее ПУ, который в «Мосгорсвете» прозвали «бериевским» (рис. 4). Увеличенное число каналов управления и, следовательно, ГПП резко снизило вероятность возникновения крупных аварий НО. Для контроля срабатывания всех контакторов в каскаде, были проложены специальные «обратные» провода от конечных ПП к приборам релейной автоматики ГПП. Приборы определяли наличие на них напряжения и выдавали закодированный сигнал в ПУ по той же управляющей телефонной линии.

Ни в одной европейской столице в это время не было внедрено системы такого рода, что не лучшим образом сказалось на их противовоздушной обороне в годы Второй мировой войны. После войны в СССР разрабатывались релейные и релейно-транзисторные (рис. 5) пульты управления НО. В начале 1970-х годов в Академии коммунального хозяйства им. К. Д. Памфилова были созданы унифицированные пульты телеуправления типа УТУ-4М, которые на несколько десятилетий определили облик систем управления освещением большинства отечественных городов.

Необходимость коренной модернизации этих систем была осознана в организациях, эксплуатирующих городское освещение, только в 1990-х годах, к тому времени, когда в отдельных передовых отраслях промышленности уже сменилось несколько поколений автоматизированных систем управления технологическими процессами (АСУ ТП).

Вторая смена концепции управления. АСУ НО

Искусство управления заключается в организации идолопоклонства.
Дж. Бернارد Шоу

Революционная замена принципа телеуправления на компьютеризированный способ управления НО впервые была осуществлена в Санкт-Петербурге.

В середине 1990-х годов была разработана и внедрена АСУНО «АВРОРА» взамен существовавшей несколько десятилетий специализированной системы телеуправления освещением Ленинграда (ТОЛ). Для этого в ПП были размещены специализированные контроллеры (приборы управления), обеспечивающие, помимо собственно дистанционного управления, и полную диагностику оборудования ПП, что кардинально расширило возможности эксплуатирующих организаций. Для диспетчерской был разработан специализированный программно-аппаратный комплекс, позволивший в режиме реального времени осуществлять управление и контроль более чем 1500 ПП.

Получение в центральном диспетчерском пункте АСУНО (ЦДП) информации об энергопотреблении и о целостности предохранителей позволило проконтролировать подачу напряжения от ПП во все подключаемые к ним ЛО и снизить до минимума осмотровые объезды сетей освещения. Быстрое и точное определение мест неисправностей, большая часть которых возникает при включении освещения, а также привязка их местоположения к электронной карте города позволили адресно направлять ремонтные бригады и оперативно управлять ходом восстановительных работ с объективным контролем их исполнения.

Между ЦДП и ГПП была обеспечена надежная связь по выделенным телефонным парам на расстоянии до 30 км с помощью специально разработанных модемов. Для обеспечения полноты контроля всех ПП в каскаде впервые в мире связь между ними была осуществлена непосредственно по питающим проводам освещения (Power Line Communication, PLC).

За 20 лет эксплуатации оборудование и программное обеспечение АСУНО «АВРОРА» неоднократно модернизировалось для наращивания функциональности и повышения надежности.

На рис. 6 представлено фото ЦДП АСУНО Санкт-Петербурга после модернизации, проведенной в конце 2015 г. Диспетчеры, инженеры и системные администраторы теперь могут обеспечивать работу АСУНО «АВРОРА» на нескольких рабочих местах с возможностью резервирования и переключения функций контроля и управления. Диспетчерские дисплеи отображают информацию о работе АСУНО (рис. 6) на мнемосхеме всей системы (1), на мнемосхемах

каскадов, на мнемосхеме каждого ПП (2), а также в виде плана сетей, наложенного на карту города (3). Полная информация о системе отображается на экране общего доступа (4). Специализированные телефонные модемы входят в состав пульта индикации и управления (ПИУ) (5), который обеспечивает также аварийное ручное управление при питании от аккумуляторов.

Следует отметить, что проникновение микроконтроллерного управления в электротехнические устройства электропитания линий освещения и применение компьютеров на диспетчерских пунктах уже привели к определенной степени «интеллектуализации» городского освещения. Результатом этой интеллектуализации стало более полное удовлетворение интересов эксплуатирующей организации в оптимизации эксплуатационных расходов и повышении отчетных показателей (в том числе и так называемого «процента горения»).

Характерно, что описанная троекратная модернизация концепции управления НО ни в коей мере не затронула идеологию НО в целом. Действительно, принципы построения и управления сетями освещения, такие как включение света подачей напряжения на светильники в ЛО и защита ЛО предохранителями (так

называемыми «плавкими вставками»), да и собственно структура трехфазных ЛО, как были заложены в начале XX века, так и не подвергались с того времени никакому сомнению и воспринимались как неизменяемый базис. Собственно говоря, и произошедшие за последнее столетие две светотехнические революции затронули только замену одних электрических ламп на другие, а именно накаливаемых — на ртутные в 1950-е годы, а затем на натриевые с середины 1970-х годов.

Применение новых ламп повлекло за собой только небольшое усложнение светильников. При переходе на ртутные лампы были добавлены дроссели, согласующие вольт-амперную характеристику газового разряда с напряжением сети и ограничивающие стартовый ток на время разогрева, которое могло достигать до нескольких минут. Для натриевых ламп дроссель пришлось дополнить импульсным зажигающим устройством (ИЗУ), создающим мощный киловольтный импульс первоначального пробоя газового промежутка. Дроссель с ИЗУ стали называть пускорегулирующим аппаратом (ПРА). Появление в дальнейшем электронных управляемых ПРА стало, как видится уже из нашего времени, не модернизацией (кстати, не во всем



Рис. 6. Аппаратура АСУНО «АВРОРА» на ЦДП ГУП «ЛенСвет» (2016 г.)

удачной) существующей технологии, а первым звончком, возвещавшим о начале конца устаревающей парадигмы неуправляемого «натриевого» НО.

Тем не менее многим до последнего времени представлялось, что и дальше эти две линии научно-технического прогресса НО (светотехническая и управленческая) будут степенно, параллельно, взаимодополняемо и гармонично развиваться. Ничто не предвещало, что они сольются воедино, соединятся с полубредовой, как казалось, идеей возврата к похороненным более ста лет назад в «войне токов» эдисоновским сетям биполярного постоянного напряжения и сформируют основу для создания новой парадигмы городского освещения — ИНО. И уже совершенно неожиданным оказалось, что использование современных средств телекоммуникации на пилотных проектах ИНО станет одной из первых реализаций концепции, которой маркетологи недавно присвоили название «Интернета вещей». Впрочем, не будем забегать вперед и порассуждаем о некоторых закономерностях смены парадигм (paradigm shifting).

О смене парадигм

*Недовольство —
первый шаг к прогрессу,
как у отдельного человека,
так и у целого народа.*

**Оскар Уайльд. Женщина,
не стоящая внимания.**

*...Смена парадигмы — крайняя мера,
к которой прибегают
лишь в случае действительной
необходимости.*

**Томас Кун. Структура научных
революций**

Согласно Томасу Куну [3], конфликт парадигм, предвещающий начало научно-технической революции, является, прежде всего, конфликтом разных систем ценностей, разных практик, разных подходов к решению инженерных задач и научных загадок, а не только конфликтом интересов. Зародышем такого конфликта чаще всего становятся вопросы (или проблемы), не нашедшие разрешения в существующей устоявшейся и доминирующей парадигме. Они либо не замечаются, либо попросту отменяются или же игнорируются

и замалчиваются. Такие проблемы Кун назвал аномалиями.

Переноса рассуждения Куна на практику городского освещения, можно заметить, что в доминирующей в настоящее время технологии НО с неуправляемыми светильниками проявляется ряд значимых аномалий, рассуждать о которых в среде профессионалов НО до последнего времени было не принято и даже считалось неприличным. Подробный анализ аномалий этой технологии был проведен в статьях [4, 5]. Среди них обращает на себя внимание такой известный среди проектировщиков факт, как обязательный полуторакратный запас по яркости светильников при сдаче ЛО в эксплуатацию, который необходим для обеспечения требуемой освещенности при деградации источников света во времени и неизбежном загрязнении светильников в процессе эксплуатации.

Этот запас был чем-то само собой разумеющимся и не считался одним из возможных резервов повышения энергоэффективности, который можно использовать, управляя яркостью лампы (теперь это принято называть диммированием). Еще одним фактом, на который, как правило, также не обращали должного внимания, является большой выигрыш в эффективности светодиодных светильников при диммировании по сравнению с любыми другими источниками света. Важно и то, что такое энергоэффективное управление существенно увеличивает срок жизни светильников, и т. д. и т. п. Таким образом, существует целый ряд возможностей, которые в состоянии сократить текущие расходы и продлить



Рис. 7. Пилотный проект «Товарищества электрического освещения П. Н. Яблочкова» по освещению Литейного моста в Санкт-Петербурге, 1879 г.

срок службы светильников, в основном за счет управления.

Тем не менее ситуация кризиса в НО созрела не столько из-за немалого числа накопленных аномалий, игнорируемых в текущей парадигме, сколько из-за достаточно большой просчитываемой величины экономической выгоды, которую сулит их разрешение. Значение кризиса заключается именно в том, что он указывает нам на необходимость сдвига парадигмы, а также на то, в каком направлении этот сдвиг и будет осуществляться. Очевидно, что решение рассматриваемой задачи создания технологии ИНО заключается в получении наибольшего интегрального экономического эффекта, а это потребует оптимального сочетания тех новых идей и решений, которые будут работать на эту цель.

История науки и техники свидетельствует, что на стадии зарождения новой парадигмы с легкостью генерируются инновации, способные воздействовать на разрешение некоторых аномалий. Ряд таких «прорывных» технологий был рассмотрен в работах [1, 5]. Со стороны просвещенного наблюдателя это выглядит как разнонаправленные попытки формирования разнообразных вариантов новой парадигмы, каждый из которых «вербует» сторонников для интеллектуальных «сражений» с апологетами старой школы. Увеличение конкурирующих вариантов реализации новой концепции, готовность опробовать различные решения, выражение недовольства, обращение к философии и к обсуждению фундаментальных положений — все это, по Куну, является признаком перехода от нормального (постепенного) развития научно-технического прогресса к экстраординарному (революционному).

Можно привести ряд примеров частичных реализаций ИНО, включающих в себя лишь некоторые из ее будущих основных положений. Большая часть этих примеров была подвергнута критическому рассмотрению в работе [5]. Из актуальных проектов самого последнего времени стоит упомянуть технологические платформы Connected Lighting (+ City Touch Control Management System) компании Philips, Street Light Control System компании Osram, LightGrid подразделения GE Lighting компании GE, а также аналогичные им платформы североамериканской фирмы Echelon

и отечественных фирм «Сандракс» (Москва) и «Завода опытного приборостроения» (Калуга). Все они представляют собой системы для управления светильниками в традиционных сетях переменного напряжения.

Примером из другой области (не относящейся к ИНО) может служить система освещения для центров обработки данных (ЦОД) консорциума Emerge Alliance, базирующаяся на энергоэффективном питании серверов ЦОД биполярным напряжением ± 190 В. Светодиодные светильники, по концепции Emerge Alliance, запитываются от этого же биполярного напряжения, но не имеют развитого интеллекта и управления. Существует ряд других вариантов построения систем освещения с частичной реализацией насущных требований перехода к ИНО. Мне удалось найти лишь пару примеров пилотных проектов комплексной и полномасштабной реализации ИНО в Нидерландах, осуществленных консорциумом DC Foundation [6]. Один из этих проектов управляемого светодиодного ИНО реализован на созданной для него сети постоянного напряжения ± 350 В, другой представляет собой освещение тепличного хозяйства с управляемыми натриевыми светильниками на сети с напряжением ± 700 В. Впрочем, подробнее остановимся на них во второй части статьи.

Согласно утверждению Макса Планка, новая научно-техническая истина не может достичь триумфа путем переубеждения оппонентов или их «просветления». Во времена степенного развития науки и техники истина чаще всего побеждала после прихода нового поколения профессионалов, не имевших укоренившихся предубеждений и хорошо знакомых с новой доктриной. В наше время такое, на первый взгляд, чисто психологическое обстоятельство не способствует ускоренному развитию научно-технического прогресса. В то же время необходимо учитывать, что попытка перехода на новую технологию без серьезной теоретической подготовки и практической отработки всех существенных деталей может оказаться контрпродуктивной. Это чревато не только чрезмерными затратами на разработку, внедрение, отладку и переделку проектов, но и недостижением поставленной цели с полной или частичной дискредитацией перспективной концепции.

Наиболее ярким примером такого научно-технического недостижения в XX веке можно считать, по всей видимости, нереализацию концепции управляемого термоядерного реактора. В области электрического ИНО весьма показательным примером может служить блестящий первоначальный успех «русского света» (дугового освещения) П.Н. Яблочкова (рис. 7), который в дальнейшем уступил лидерство накальному освещению. Есть и ряд примеров неудачных современных пилотных проектов светодиодного ИНО, не оправдавших, по разным причинам, возлагаемых на них надежд. Одним из них, по моему мнению, является тотальное внедрение светодиодного освещения в Лос-Анджелесе (рис. 8) без проведения параллельной и согласованной модернизации системы управления. Подробный критический разбор двух последних примеров был приведен в статье [4].

Чтобы выбрать «золотую середину» в воплощении инновационной технологии ИНО, следует, в первую очередь, как можно точнее сформулировать критерий необходимости и достаточности такого перехода. Очевидно, что он (критерий) должен носить системный характер и в наиболее явном и полном виде отражать общественные и государственные интересы развития ИНО.



Рис. 8. Освещение Лос-Анджелеса: а) в 2010 г.; б) три года спустя

В нашем случае, как и во множестве аналогичных, проще всего отталкиваться от модного и (как бы) общепринятого критерия соотношения цены и качества. А поскольку требуемые характеристики ИНО достаточно строго нормированы в руководящих документах (с ранжированием для дорог разной категории), то и критерий упрощается до величины цены, которую следует заплатить за создание и поддержание регламентированных характеристик ИНО. Очевидно, что исходя из обозначенных интересов нам следует стремиться к минимизации расходов в течение всего жизненного цикла ИНО, поэтому в качестве критерия следовало бы выбрать известную экономическую категорию — совокупную стоимость владения (ССВ). Однако всеобъемлющий расчет по критерию ССВ (англоязычный аналог — Total Cost of Ownership, TCO) за весь жизненный цикл ИНО весьма сложен, громоздок и вряд ли может быть убедительным, а посему и рекомендованным для использования.

Для упрощения вычислений в работе [1] было предложено проводить оценку инновационных технологий ИНО по критерию чистого дисконтированного дохода (ЧДД, NPV, Net Present Value), что существенно уменьшает трудоемкость расчетов, особенно при сравнении нескольких вариантов. Можно дополнительно упростить вычисления, сократив расчетный срок жизненного цикла ИНО временем эксплуатации до капитального ремонта. Такой подход позволил создать метод сравнения технологий ИНО на базе электронных таблиц с построением по каждой из них итоговых графиков изменения ЧДД за время эксплуатации. Это повысило убедительность и наглядность результатов.

В современных условиях ускоренного инновационного развития электроники и телекоммуникаций такой метод позволяет оперативно вносить коррективы в прогноз развития ИНО и даже учитывать динамику улучшения характеристик отдельных элементов. Так, еще в 2010 г. удалось показать, что при прогнозируемом увеличении эффективности светодиодов и снижении их цены технология ИНО с управляемыми светодиодными светильниками на сетях постоянного напряжения в ближайшие годы сможет стать наиболее эффективной.

Таким образом, сложилась довольно любопытная ситуация, в которой выбор пути развития ИНО во многом определяется убедительностью предварительной априорной экономической оценки результатов будущего внедрения. Раньше на такую достоверную оценку можно было рассчитывать в лучшем случае апостериори, после внедрения первых пилотных проектов. Очевидно, что для продвижения инновационной технологии развития отрасли уже недостаточно как технически грамотно сформулированной передовой концепции, так и обоснования выдающейся бизнес-идеи с быстрым возвратом инвестиций (Return on Investment, ROI) или с высокой рентабельностью активов (Return on Assets, ROA).

В то же время хорошо известно, что в конце XX века некоторые крупные проекты с громогласно объявленным долгосрочным экономическим эффектом оказывались не самыми удачными и, в конце концов, были досрочно прекращены (из наиболее ярких примеров — Space Shuttle и Concorde). В связи с этим для обеспечения успешного внедрения ИНО наиболее важной становится такая формулировка его основных положений, которая была бы нацелена на получение экономического и социального эффекта на протяжении длительного периода времени, оценкой чего и сможет послужить критерий ЧДД.

Смену одной технической парадигмы на другую (или сдвиг парадигмы) принято называть научно-технической революцией. За многовековую историю формирования и преобразования городской среды можно выделить пять светотехнических революций [4] и, следовательно, шесть последовательно сменяющих друг друга технологий НО. До сих пор в основе каждой следующей технологии лежал более эффективный источник света. Технология I базировалась на факельном освещении, II — на источниках света на жидком топливе (масляные, а затем керосиновые лампы), III — на газовых светильниках, IV — на лампах накаливания, V — на ртутных лампах, VI — на натриевых лампах. Казалось бы, переход на новые, еще более эффективные источники света — светодиоды — и должен составить суть VII технологии НО. Однако, как показано в работе [4], относительно незначительное (по сравнению со всеми предыдущими

революциями) превышение эффективности светодиодов над натриевыми лампами оказывается для этого недостаточным. Расчеты показывают, что только в сочетании с управлением можно достичь необходимого повышения эффективности сетей НО с одновременным снижением текущих расходов на их содержание.

Непременным условием этого процесса следует считать достижение высокой надежности всех электронных устройств ИНО (драйверов светильников, контроллеров ПП и оборудования ПУ). В свою очередь, существенный прирост надежности самого массового элемента ИНО — драйверов светильников — возможен только при переходе на электропитание постоянным напряжением, существенно упрощающим схемотехнику при полном изъятии наиболее ненадежных элементов — электролитических конденсаторов. Это также повышает энергоэффективность сети, уменьшает количество питающих проводов и улучшает условия для реализации связи со светильниками непосредственно по силовой сети (PLC).

Постановка задачи перехода на ИНО

Электричество было открыто не в результате проекта по усовершенствованию свечи.

Из выступления Президента Франции на 35-й конференции по физике высоких энергий. Париж. 26.07.2010

Исходя из приведенных рассуждений можно установить, что качественным отличием концепции ИНО должно стать не абстрактное повышение «интеллектуальности» АСУ, не переход с натриевых ламп на светодиоды, не конвергенция инновационных технологий светотехники, электроники, телекоммуникаций и энергетики и даже не выдающиеся характеристики энергосбережения и экологичности светодиодного НО. Важнейшим качеством ИНО как системы, обладающей новыми свойствами и инновационными компонентами, станет получение существенного и долгосрочного экономического эффекта при улучшении эксплуатационных характеристик городского освещения. Использование критерия ЧДД позволяет сбалансировать в такой системе все типы расходов на протяжении жизненного цикла

инновационного НО (включая расходы на разработку, изготовление, монтаж, пусконаладку, эксплуатацию, капремонт и утилизацию) при одновременном повышении энергоэффективности. Таким образом, технико-экономическое обоснование, являвшееся обязательным при разработке проектов во времена СССР, но чаще всего выполняемое довольно формально, приобретает в нашем случае совершенно новую трактовку.

Первый же анализ ряда альтернативных вариантов дальнейшего развития НО со сравнительным расчетом по критерию ЧДД, проведенный в 2010 г. [1], привел к неожиданному для многих результату — абсолютному преимуществу ИНО над другими возможными технологиями НО, что вызвало оживленную и неоднозначную дискуссию специалистов на страницах журнала «Светотехника». К сожалению, за этим не последовало детальной проработки элементов инновационной системы с выходом на пилотный проект.

Тем временем за последние годы появился ряд отечественных и зарубежных предложений по интеграции ИНО с другими городскими «умными» системами в сферах энергетики, водоснабжения, жизнеобеспечения, безопасности, общественного транспорта и иных областей в рамках концепции «умного города». Внимательное рассмотрение этих предложений дает понимание того, что система НО имеет наибольший охват по территории из всех этих систем, поскольку уличное освещение после появления электричества стало непременным атрибутом мест обитания homo sapiens, от небольших поселков до крупных городов.

По всей видимости, ИНО будет принадлежать также первенство по количеству объектов, находящихся под единым централизованным управлением. Так, число ПП, в которых располагаются системные контроллеры ИНО и могут находиться сетевые коммутаторы подсистемы связи, составляет около 3 шт. на 10 тыс. горожан, а число управляемых светильников в ИНО может достигать 400–500 шт. на 10 тыс. горожан. Таким образом, по количеству точек обслуживания ИНО потенциально могло бы уступать лишь гипотетической системе сбора информации от «умных» квартирных счетчиков электроэнергии и воды. Однако в ней не имеется управляемых объектов, так что, скорее всего, не стоит ожидать появления в ближайшем

будущем единого городского или даже районного диспетчерского центра.

Все вышеназванные черты концепции ИНО сближают ее не только с концепциями «умного города» (Smart City) и «умных сетей» (SmartGrid), но и с современными концепциями «Интернета вещей» (Internet of Things, IoT) и «Всеобщего Интернета» (Internet of Everything, IoE). Действительно, в ИНО налицо все признаки IoT, более того, ИНО, видимо, и будет развиваться как специфический закрытый сегмент IoE и как важная часть «умного города».

Промежуточное резюме

Итак, основные принципы построения инновационной парадигмы ИНО как системы управления «умными» светильниками, подключенными к сети постоянного напряжения, определены исходя, главным образом, из экономического критерия ЧДД. Далее необходимо конкретизировать общие положения ИНО, а также определить облик составных частей и их функциональность. Кроме того, предстоит сформулировать перечень задач для первоочередной отработки на пилотном проекте. Этому, в основном, и будет посвящена вторая часть статьи. ●

P.S. ...открытия новых истин следует искать от света природы, а не от мглы древности.

Ф. Бэкон. Новый Органон (Книга первая)

Литература

1. Зотин О. Т., Морозова Н. О. Энергосберегающее управление наружным освещением. Возможные принципы построения и сравнительная оценка вариантов // Светотехника. 2010. № 5.
2. Ильф И., Петров Е. Одноэтажная Америка. М.: Гослитиздат, 1937.
3. Кун Т. С. Структура научных революций. Изд-во университета Чикаго. 1962.
4. Зотин О. Некоторые особенности VI светотехнической революции в наружном освещении // Полупроводниковая светотехника. 2015. № 1–3.
5. Зотин О. Технологии автоматизации в энергоресурсосберегающих сетях освещения // Современные технологии автоматизации. 2012. № 4.
6. Зотин О. Сети освещения на постоянном напряжении в Нидерландах // Полупроводниковая светотехника. 2015. № 4.