

Некоторые особенности VI светотехнической революции в наружном освещении.

Часть 2

Основная цель изучения прошлого — понять, какие изменения могут быть в нем реально сделаны, чтобы они адекватно соответствовали нашему времени, нашим нынешним историческим потребностям, а не были бы похожи или не похожи на то, что случалось в прошлом. [1]



Карикатура на пилотный проект газового освещения, Пэлл-Мэлл, Лондон, 1809г.

Предисловие

В первой части настоящего исследования была рассмотрена история эволюционно-революционного развития технологий наружного освещения (НО) с привлечением методов системологии. Были приведены доводы и доказательства в пользу необходимости более углубленного рассмотрения возможностей нарождающейся светодиодной (СД) технологии НО. Установлено, что наибольший потенциал по модернизации СД технологии, еще не утвердившейся в качестве основной в НО, имеют методы энергосберегающего интеллектуального управления.

Некоторые предварительные соображения

В отличие от предыдущих пяти основных технологий НО, технология СД влечет за собой неизбежное применение в светильниках полупроводниковых управляющих устройств (драйверов), необходимых для питания СД постоянным стабилизированным током. При этом в светильниках НО относительно редко используется важнейшее отличительное свойство собственно СД, а именно — их выдающиеся характеристики по управлению яркостью (т.н. диммирование).

Обычно в качестве основных преимуществ СД-технологий в сравнении с технологиями на натриевых лампах высокого давления (НЛВД) выделяют более высокую эффективность светодиодов, лучший коэффициент цветопередачи (Colour Rendering Index, CRI), направленность излучения и отсутствие необходимости в зеркальном отражателе. Возможность диммирования позволяет получить дополнительные системные преимущества, подробно проанализированные в [2]. Среди этих системных преимуществ в первую очередь следует отметить:

- глубину регулирования светового потока, превышающую необходимый для НО диапазон (до 3,5 раз), которая недостижима для большинства существующих газоразрядных источников света;
- увеличение энергоэффективности СД при диммировании, в отличие от снижения эффективности всех остальных источников света;
- повышение надежности и увеличение срока службы СД при диммировании (за счет уменьшения рабочей температуры и скорости деградации).

Необходимо признать, что отмеченные дополнительные системные преимущества СД-технологии могут дать существенный прирост энергоэффективности, превышающий прирост, получаемый от превосходства СД источников света над НЛВД. Реализация этих дополнительных преимуществ возможна только в системе НО с управляемыми светильниками, причем в этой системе должны сочетаться различные способы управления: директивное диспетчерское, автономное и автоматическое управление от датчиков. В современной терминологии такие системы называют системами интеллектуального освещения.

Важно отметить, что при внедрении интеллектуального управления возникают дополнительные возможности, связанные с более высоким уровнем диагностики и контроля сети светильников, которые могут ответить самым взыскательным запросам современных эксплуатирующих организаций. В частности, оперативный контроль исправности светильников и целостности сетей способствует улучшению планирования по обслуживанию и ремонту, снижению эксплуатационных расходов и повышению качественных характеристик НО. Реализация таких возможностей становится все более необходимой для получения дополнительных преимуществ в развернувшейся конкурентной борьбе за победу в VI светотехнической революции. В то же время внедрение интеллектуальных технологий управления требует весьма высокой культуры проектирования, разработки, производства и эксплуатации такой сложной техники.

В связи с этим представляется, что формирование новой основной технологии освещения в целом существенно отличается от IV и V светотехнических революций, ограничившихся заменой одних электрических светильников на другие, более совершенные. Эти процессы по своей фундаментальности все больше напоминают II и III светотехнические революции (связанные с переходами к газовому освещению и электрическому освещению на лампах накаливания) в течение которых происходила замена не только собственно светильников, но и других компонентов НО и даже инфраструктуры НО в целом.

В связи со всем вышеизложенным следует, по всей видимости, пересмотреть

подходы к формированию облика новой технологии и прежде всего, определиться с ее названием. Поскольку основные акценты такой полупроводниковой технологии освещения смещаются из области увеличения эффективности источников света в область управления, то логично дать ей наименование технологии интеллектуального НО (ИНО).

Перед тем, как приступить к рассмотрению конкретных формирующихся характеристик ИНО, нам предстоит, в соответствии с избранной методологией, проанализировать историю развития технологий управления в НО.

Об автоматизации в освещении

Прогресс состоит не в замене неверной теории на верную, а в замене одной неверной теории на другую неверную, но уточненную.
Стивен Хокинг

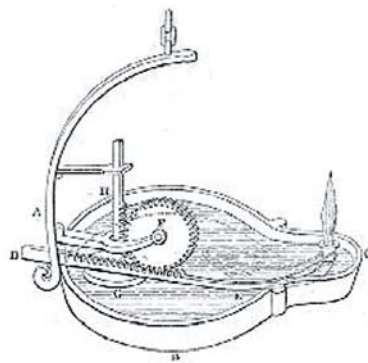


Рис. 1. Масляный светильник Герона Александрийского

Методы автоматического управления применялись практически во всех технологиях освещения. Первоначально это сводилось к автоматизации отдельных процедур, носило вспомогательный характер и определялось необходимостью улучшения отдельных характеристик светильников.

Еще в античное время, с его масляными светильниками, стояла задача обеспечения их длительного горения без привлечения специального слуги, который ходил бы по комнатам, периодически поправляя фитили и подливая масло. И если имена изобретателей, работавших над увеличением огнестойкости фитиля, канули в Лету, то имя Герона Александрийского, придумавшего первую автоматическую масляную лампу

в I в. н.э., стало нам известно (несмотря на уничтожение Александрийской библиотеки) по средневековому переводу с арабского языка на итальянский его трактата «Автоматика» [3]. Проблема заключалась в том, что из-за малой высоты поднятия по капиллярам густого горючего (рапсового масла) требовалось поддерживать малое выступание фитиля над постоянно снижающимся уровнем масла. Герон впервые применил реечно-зубчатый механизм в сочетании с поплавковым датчиком (рис. 1) и обеспечил этим увеличение длительности стабильного горения лампы.

В дальнейшем, как уже было отмечено в первой части статьи, наибольшее распространение на протяжении веков получило более удобное и менее пожароопасное свечное освещение. Описывая принцип действия свечи, М. Фарадей особо отмечал [4], что после ряда безымянных изобретений [2] в ней впервые был реализован принцип обратной связи, обеспечивающий длительное горение с практически полным сгоранием горючего вещества без применения какой-либо автоматики.

Следующий этап модернизации масляного освещения начался в эпоху Возрождения (Леонардо да Винчи, Дж. Кардан и пр., [2]), а завершился, в основном, к началу XIX в. Важнейшим изобретением этого периода можно считать лампу Ами Арганда (1783 г.), совершившую переворот в эффективности масляного освещения. Арганд применил ламповое стекло (по да Винчи) и кольцевой фитиль, увеличив за счет этого приток воздуха к пламени; он также использовал подачу масла под небольшим давлением (по Кардану) от вышерасположенного резервуара. В сумме это увеличило яркость масляной лампы по сравнению с типовой свечой более чем в десять раз. Решая задачу Герона в рамках концепции Арганда, французские изобретатели автоматизировали подачу масла, поступающего в фитиль, что позволило уменьшить габариты лампы и повысить пожарную безопасность. Дозированная подача масла обеспечивалась поршнем, создающим давление на масло под воздействием часового (Карсель, 1800 г.) или пружинного (Франшо, 1837 г.) механизмов, что и обеспечило равномерность подачи и стабильное длительное горение масла при меньшем его расходе. Эти конструкции послужили основой для первых образцов работоспособных масляных уличных све-

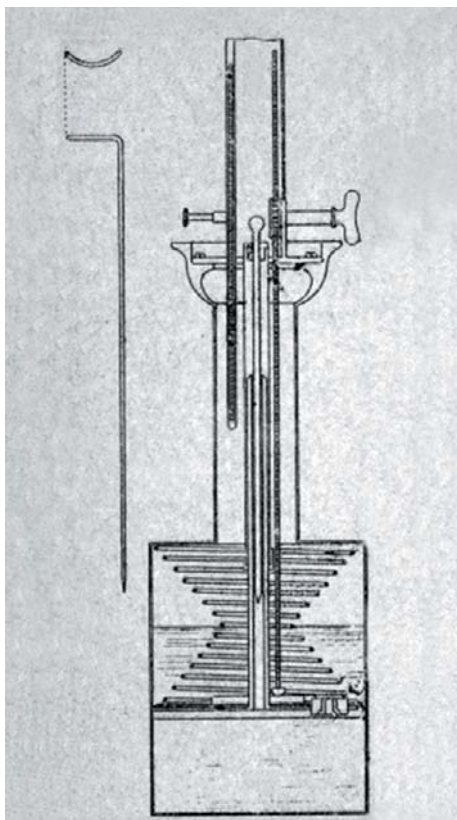


Рис. 2. Схема масляного светильника Арганда—Франшо (со снятым ламповым стеклом)

тильников. Один из вариантов конструкции светильника с пружинным механизмом показан на рис. 2.

В дальнейшем многовековая задача борьбы с вязкостью масла была кардинально разрешена после получения из нефти керосина, который обеспечил лучшее смачивание

фитиля и стабильное горение без использования каких-либо элементов автоматизации. В результате конструкция светильников упростилась, произошло и уменьшение затрат на обслуживание. Керосиновые лампы стали массово использоваться как во внутреннем освещении, так и в наружном. Современные керосиновые лампы, весьма популярные в развивающихся странах, являются, по сути, повторением конструкции лампы Арганда — за исключением того, что керосин не требуется подавать под давлением.

Как известно, ко времени появления керосина мощное развитие получила газовая технология, которая совершила революционный переворот в эксплуатации НО, автоматизировав процесс доставки топлива к светильникам, их гашение, а впоследствии и зажигание. Это уменьшило трудоемкость обслуживания и позволило избавиться от большого количества низкоквалифицированных фонарщиков. Для работы на газовых заводах и обслуживания газовых сетей и светильников требовалось уже гораздо меньшее число рабочих и техников. На рис. 3 в качестве примера показан один из первых экспериментальных образцов систем газового освещения, обслуживавший всего 11 газовых рожков. Получение газа происходило при сгорании угля без доступа воздуха (возгонке) в так называемых «ретортах» печи (1), затем газ поступал через трубы в фильтр (2), далее в накопитель—газгольдер (gas holder) (3) и, наконец, в газовые горелки—рожки (4). Потребность в большом количестве газа

в освещении и в промышленности привела к стремительному росту и широкому распространению газовых технологий. К концу XIX в. крупные промышленные центры обзавелись газовыми заводами с газгольдерами, максимальный объем которых доходил до 400 000 м³.

Таким образом, если в первых технологиях НО автоматизация занималась в основном исправлением отдельных недостатков светильников, то при внедрении газовой технологии она вышла на более высокий, системный уровень. При этом удалось практически полностью автоматизировать весь технологический процесс городского освещения, резко сократив долю повседневногo ручного труда. В дальнейшем автоматизация затрагивала как модернизацию технологий НО в целом, так и улучшение характеристик отдельных ее элементов.

После перехода на электрическое освещение для обеспечения работоспособности и улучшения характеристик источников света в светильниках первоначально применялись электромеханические и электромагнитные, а последние пять десятилетий — и полупроводниковые регуляторы.

Так, в первой электрической технологии — дуговом освещении — для устранения ручного регулирования расстояния между сгорающими электродами изобретались различные хитроумные электромеханические автоматические устройства, из которых наиболее примечательным следует признать дифференциальную лампу В. Н. Чиколева (рис. 4). Решение задачи стабилизации расстояния между электродами,

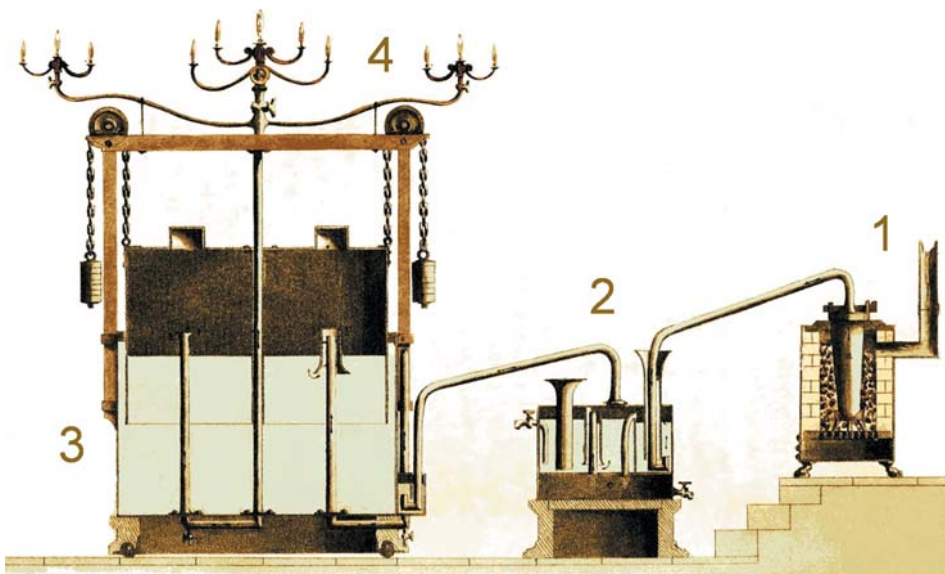


Рис. 3. Мини система газового освещения с газгольдером Лавуазье

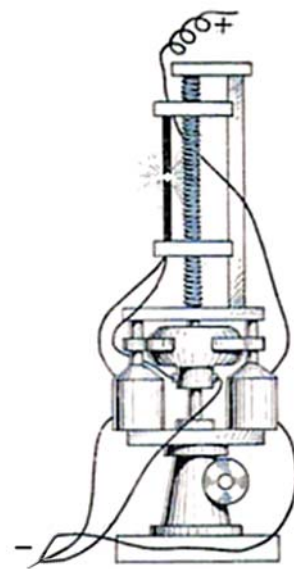


Рис. 4. Дуговая лампа В. Н. Чиколева

а, следовательно, и стабильности горения, было достигнуто за счет использования в электродвигателе, который перемещал электроды, двух обмоток возбуждения, подключенных параллельно и последовательно с электродами. Такая конструкция обеспечила стабильность вольт-амперной характеристики лампы до полного сгорания электродов и разрешила задачу т.н. «дробления тока» — одновременной работы любого числа ламп от одного источника питания. В дальнейшем П. Н. Яблочков модернизировал дуговое освещение, расположив электроды параллельно (т. н. «свеча Яблочкова»), устранив необходимость автоматизации дугового светильника. При этом, для обеспечения равномерного обгорания электродов, он впервые применил генератор переменного напряжения. Но даже такое выдающееся изобретение, как уже отмечалось в первой части статьи, не вывело дуговое освещение на уровень основной технологии в НО ввиду малого срока жизни сгорающих электродов. Попытки автоматизации процедуры замены свечей Яблочкова не привели к успеху ввиду существенного усложнения конструкции светильника и снижения надежности.

Стартом III светотехнической революции стал переход на лампы накаливания (ЛН). Наряду с А. Н. Лодыгиным большую роль в этом сыграли североамериканские изобретатели Т. А. Эдисон, В. Д. Кулидж и И. Ленгмиор. В результате этой революции произошло постепенное и почти полное вытеснение всех конкурирующих технологий НО, существующих на начало XX в., что привело к унификации источников света и собственно технологии НО. Характерно, что структура построения электрического освещения первоначально копировала структуру газового освещения; так триада «газовый завод–газовая распределительная сеть–газовые рожки» превратилась в триаду «электростанция–электрическая сеть–светильники с лампами накаливания». Даже терминология электрических сетей освещения во многом копировала терминологию газовых сетей, исходя из чисто маркетинговых соображений завоевания широкого потребительского рынка. Автоматизация же технологии ЛН первое время оставалась на уровне газовой технологии: включение и выключение освещения обеспечивалось из единого для микрорайона пункта питания НО, а самим светильникам, ввиду их совершенства (на то время), никакой автоматизации не требовалось.

Начиная же с IV революции, все вновь изобретаемые и более эффективные элек-

трические источники света, в отличие от ЛН, уже не могли подключаться непосредственно к сети переменного напряжения и требовали устройств сопряжения, стабилизирующих их характеристики. Так, ртутным лампам высокого давления был необходим дроссель (т.н. «балласт»), обеспечивающий стабилизацию рабочего тока лампы и снижение ее пускового тока. Натриевым лампам высокого давления (НЛВД) требовался уже пускорегулирующий аппарат (ПРА) из дросселя и импульсного запускающего устройства, обеспечивавшего начальный пробой газового промежутка. Тоже касалось и металлогалогенных ламп. Несколько позже (с развитием электроники) появились полупроводниковые аналоги ПРА — т.н. электронные ПРА (ЭПРА). Лампам появившихся позже альтернативных газоразрядных технологий НО требуются еще более сложные управляющие устройства, необходимые для поддержания их работы. Так, поскольку разряд в серной лампе возбуждается магнетроном, а в бесконтактной металлогалогенной лампе — диэлектрическим объемным резонатором, то эти лампы питаются от соответствующих полупроводниковых преобразователей. Кроме того, им требуется вентиляторное охлаждение и электромагнитное экранирование. Современным индукционным лампам необходимы специальные возбудители электромагнитного поля. Что касается светодиодов, то для питания стабилизированным постоянным током в большинстве СД-ламп содержится соответствующий драйвер.

Таким образом, применение все более совершенных электрических источников света приводило к усложнению средств их подключения к электрической сети. Появившаяся в результате этого возможность индивидуального управления световым потоком счастливо совпала с появлением определенных потребностей в экономии энергии, о чем порассуждаем немного ниже.

Что касается системной автоматизации, то нужда в автоматизированном управлении городским освещением из одного диспетчерского центра появилась в середине 1930-х годов, причем первопричиной была вовсе не необходимость в экономии средств.

О системах управления городским освещением

Первая в мире система телемеханического управления освещением большого города создавалась в Москве. По плану генеральной реконструкции столицы (1935 г.), в городе начали внедрять новые зеркальные светильники, увеличившие освещенность дорог. Управление же освещением осуществлялось по старинке; электромонтерам ежедневно приходилось включать и отключать рубильники более чем в 900 исполнительных пунктах, что было весьма трудоемко и занимало довольно продолжительное время. Однако основным стимулом для создания системы централизованного управления освещением стала не необходимость снижения трудоемкости и текущих расходов, а предчувствие большой войны и четко сформулированные «компетентными органами» требования по светомаскировке, включающие оперативное отключение городского освещения.

Рабочий проект системы разрабатывался в 1938–1939 гг. специально созданной для этого группой инженеров «Моссветпроекта» под руководством А. А. Вепринцева. Весной 1941 г. в целом было завершено внедрение системы централизованного управления. Она содержала один центральный и семь районных диспетчерских пультов управления (ДПУ). Система обеспечивала управление модернизированными 250 головными и 1200 каскадными исполнительными пунктами (ИП), размещаемыми возле электроподстанций. Оборудование изготавливалось ленинградским заводом



Рис. 5. Пульт УТУ-60 телемеханической системы управления городским освещением из музея «Огни Москвы»



Рис. 6. Инженер диспетчерской службы ЭСП «Ленсвет» С. И. Тепленичева тестирует систему «ТОЛ»

«Красная звезда» и московским заводом «Светотехник». Импульсные команды включения и отключения контакторов головных ИП подавались от районных ДПУ (рис. 5) по кабелям телефонной связи. Система обеспечивала также и обратный контроль включения линий освещения, содержащих более чем 40 000 светильников. Такая система централизованного управления освещением большого города создавалась в нашей стране впервые.

Большую роль система телемеханического управления НО Москвы сыграла при ночных налетах вражеской авиации, начавшихся в июле 1941 г. По сигналам

«воздушная тревога» освещение во всем городе выключалось до подлета бомбардировщиков. Аппаратура системы показала свою высокую надежность в сложных условиях Великой Отечественной войны. Ни один европейский город не имел к этому времени подобной системы. Достаточно сказать, что первую бомбардировку Берлина 8 августа 1941 г. самолетам 1-го минно-торпедного авиаполка Балтийского флота удалось осуществить при включенном НО столицы III Рейха.

С октября 1942 г. в Москве было дополнительно введено маскировочное освещение, которое обеспечивало безопасность движения транспорта и пешеходов в режиме затемнения.

В дальнейшем московский опыт был использован при создании системы телеуправления освещением Ленинграда «ТОЛ» (рис. 6) и при разработке унифицированной релейной системы городского управления освещением в Академии коммунального хозяйства им. К. Д. Памфилова в 1960-х годах. На рис. 7 представлен пульт УТУ-4М этой системы.

До середины 1990-х не проводилось существенной модернизации систем релейного управления, которые можно считать первым поколением систем управления НО. Задача создания компьютеризированной системы управления городским освещением впервые была поставлена в Санкт-Петербурге в 1995 г. в ГУП «Ленсвет». Главным фактором, повлиявшим на это решение, послужило не столько несовершенство системы «ТОЛ», сколько ее физическая изношенность, приведшая к растущему

числу отказов и трудностям в замене снятых с производства комплектующих. Созданная в ОАО «НИИ точной механики» автоматизированная система управления освещением (АСУНО) «АВРОРА» впервые в России продемонстрировала комплексный подход к автоматизации управления городским освещением. Традиционные задачи диспетчерского управления и контроля включения всех каскадных схем городского освещения были существенно расширены. Впервые была осуществлена детальная диагностика каждого из 1500 пунктов включения освещения, обеспечено оперативное отображение рабочих и аварийных режимов на мнемосхемах разной степени детализации и на карте встроенной геоинформационной подсистемы. Реализовано автоматическое создание отчетов и ведение архива событий. В более поздних реализациях системы был обеспечен дистанционный контроль энергопотребления. Все это позволяет говорить о том, что была создана система управления городским освещением второго поколения.

За прошедшие годы АСУНО «АВРОРА» неоднократно модернизировалась с целью увеличения надежности оборудования, повышения функциональности, оперативности и информативности, снижения утомляемости операторов. Система была установлена в ряде городов России и ближнего зарубежья. На рис. 8 показана современная диспетчерская системы «АВРОРА».

В последние годы появились несколько аналогичных систем, решающих задачи управления городским освещением. Однако отсутствие общих технических требований и координации в их разработке привело и к отсутствию как унификации в технических характеристиках этих систем, так и во взаимозаменяемости оборудования.

О технологиях энергосберегающего управления (общие соображения)

*Благими намерениями...
Дж. Герберт,
из книги *Jacula prudentium**

Следующим фактором, оказавшим большое влияние на дальнейшее развитие систем НО стала необходимость энергосбережения.



Рис. 7. Пульт управления городским освещением УТУ-4М для 50 ИП

Первоначально задача энергосбережения в НО стояла предельно просто. Ночью при снижении интенсивности движения транспорта и пешеходов считалось допустимым снижать освещенность улиц до уровня, соответствующего 50% и даже менее от нормальной вечерней освещенности. Для электрического освещения при использовании трехфазных сетей легче всего это можно осуществить отключением одной или двух фаз в каждой отходящей от пункта питания линии освещения. Первоначально было принято оставлять на ночь одну работающую фазу. Затем был осуществлен переход на две фазы, поскольку считалось, что не следует иметь два негорящих светильника подряд. Только после того, как было решено, что получаемая экономия электроэнергии не покрывает ущерба от повышения уровня дорожно-транспортных происшествий и снижения надежности линий, от такой практики в больших городах пришлось отказаться. В оправдание этого стало модным высказывать соображение, что отказ от экономии энергоэнергии в системах НО во время ночных провалов общего городского потребления даже полезен, поскольку существующая энергетическая инфраструктура, а особенно крупные тепловые и атомные электростанции, плохо приспособлены для работы при относительно быстром изменении нагрузки.

В предыдущих исследованиях [5] автор констатировал, что в ближайшем будущем обострятся не только вопросы, связанные с необходимостью работы систем энергетики на переменную нагрузку, но и сама генерация энергии постепенно перестанет обладать относительным постоянством. Действительно, современные тенденции по увеличению доли альтернативной (солнечной и ветровой) энергетики до 30% от общей генерируемой мощности и даже более, неизбежно приводят к возрастанию переменной ее составляющей. Наиболее эффективно это может быть компенсировано гидроаккумулирующими электростанциями (ГАЭС), гидроагрегаты которых можно переключать из насосного в генераторный режим и обратно по нескольку раз за сутки. Первая ГАЭС была построена в Европе еще в конце XIX в., в ряде стран ГАЭС занимают весьма ощутимое место в энергетике [5]. Попутно заметим, что в газовой технологии НО роль



Рис. 8. Оборудование АСУНО «АВРОРА» в диспетчерской ГУП «Ленсвет»

таких хранилищ энергии выполняли газгольдеры.

Таким образом, становится очевидным, что развитие альтернативной энергетики в ближайшее время придает дополнительный импульс и развитию энергосберегающих технологий.

Важно отметить, что, несмотря на высказываемый скептицизм по вопросу полезности энергосбережения в современных условиях, в существующих руководящих документах предусмотрена возможность энергосберегающего управления в НО путем диммирования светильников. Причем, важным фактором в таком регулировании является необходимость учета потока городского транспорта в ночное время. Такой подход требует получения информации от системы интеллектуального управления дорожным движением либо применения собственных датчиков, измеряющих интенсивность движения транспорта, либо, в крайнем случае, можно

допустить и управление по усредненным статистическим данным.

В крупных городах возможно использование и других резервов по энергосбережению, так, например, прорабатываются варианты частичного отключения в ночное время подсветки зданий и сооружений, что может дополнительно дать еще до 2% экономии электроэнергии [7]. В анализе же всех возможных резервов, связанных с управлением городским освещением [2], обоснована возможность достижения 50%-й экономии электроэнергии и даже более. Это подтверждается на ряде современных зарубежных пилотных проектов управляемого светодиодного НО. В условиях Санкт-Петербурга в денежном выражении такая экономия может составить до 300 млн. руб. в год.

По всей видимости, сложившаяся в нашей стране ситуация с отсутствием прямых стимулов к разработке энергосберегающих технологий вызывается отсутствием

в настоящее время отлаженных обратных связей между энергопотребляющими сферами городского хозяйства, структурами, ответственными за генерацию электроэнергии и разработчиками систем управления. Такое положение пока не способствует ни развитию инновационных технологий энергосбережения в городском освещении, ни продвижению технологий аккумулирования электроэнергии, весьма важных для развития альтернативной энергетики.

Тем не менее, в ноябре 2014 г. было подписано соглашение между ОАО «РусГидро» и китайской компанией PowerChina о создании совместного предприятия по строительству Ленинградской гидроаккумулирующей электростанции (ЛГАЭС) на реке Шапша, а также других перспективных проектов ГАЭС на территории РФ [8]. Проект ЛГАЭС с восемью обратимыми гидроагрегатами, работающими при расчетном напоре 87 м, со среднегодовой выработкой электроэнергии до 3 ТВт·ч был разработан еще в начале 1980-х годов. Отмечается, что предполагаемый синхронный ввод в эксплуатацию ЛГАЭС и Ленинградской АЭС-2 может создать наиболее благоприятные условия для функционирования как этих объектов, так и ЕЭС России в целом.

Таким образом, учитывая все вышесказанное, при разработке перспективной технологии ИНО необходимо рассматривать энергосберегающие характеристики, как важнейшие.

О технологиях энергосберегающего управления (конкретные соображения)

Как уже было отмечено, от простейшего варианта энергосбережения в НО — пофазного отключения — пришлось отказаться ввиду его неэффективности. Аналогичный результат последовал и при попытке модернизации этой технологии путем использования двухламповых переключаемых светильников. Последующие варианты энергосберегающего управления ждала не намного лучшая участь.

Так, простейшее фазовое диммирование ЛН, получившее распространение во внутреннем освещении, вообще не нашло в НО практического применения ввиду резкого снижения эффективности ламп накаливания при регулировании их ярко-

сти. Кроме того, при таком регулировании ухудшается и коэффициент мощности.

После начала внедрения газоразрядных светильников, одной из первых технологий управления, предложенных на смену пофазному отключению, явилась технология т.н. группового управления. В ней осуществляется регулирование напряжения сети освещения с помощью переключения обмоток питающего ее автотрансформатора. И если первоначально она не выходила за рамки экспериментальной, то с появлением надежных полупроводниковых силовых ключей (симисторов) появились ее воплощения в ряде проектов. Однако, несмотря на достаточно очевидный экономический эффект от экономии электроэнергии (до 25%), эта технология не получила широкого распространения и, как было показано в [6], она и не могла стать универсальной по целому ряду характеристик. К примеру, считается, что освещение остановок общественного транспорта и пешеходных переходов в ночном режиме должно оставаться на уровне вечернего. При регулировании общего для всех светильников сетевого напряжения это обеспечить весьма затруднительно. Очевидно, что более приемлемым вариантом для городского освещения было бы индивидуальное управление светильниками.

Первой такой технологией индивидуального управления стала технология с переключением дросселей в ПРА светильников с газоразрядными лампами. Однако она нашла применение лишь в ограниченном количестве проектов, ввиду небольшой экономии электроэнергии, необходимости прокладки дополнительных проводов управления и введения в светильники дополнительных коммутирующих элементов, снижающих их надежность.

Только после появления надежных полупроводниковых ЭПРА индивидуальное управление светильниками с НЛВД стало получать более широкое распространение.

С середины 1990-х годов в Европе и Северной Америке было внедрено несколько десятков проектов систем управления с использованием управляемых ЭПРА. Наиболее крупным и успешно работающим из этих проектов стала система городского освещения одной из скандинавских столиц. Все проекты с управляемыми ЭПРА реализовывались в существующей сетевой структуре освещения, что позволило осуществить большое их число при относительно невысоких за-

тратах. Однако, несмотря на перспективность этого пути, получения реальной экономии электроэнергии и улучшения целого ряда эксплуатационных характеристик НО, эта технология не успела завоевать положение основной. В настоящее время главные надежды связываются с наступающей т.н. «светодиодной революцией», в рамках которой начали проектироваться и внедряться уже весьма крупные проекты. Наибольшую известность приобрели большие светодиодные проекты в крупных городах юго-западных штатов США. Однако недостаточная, на взгляд автора, степень проработки этих проектов [2], совмещенная с попыткой «одним махом» решить самый сложный вопрос создания новой основной технологии освещения, приведут, скорее всего, к разочарованию в результатах внедрения этих масштабных проектов. Заявленную научно-техническую проблему следует решать более взвешенно и с привлечением широкого круга профессионалов не только в области светодиодных технологий, но и в областях управления, связи и энергетики, на чем автор постарается подробнее остановиться в дальнейшем анализе.

Техническое отступление

Особняком в ряду энергосберегающих технологий освещения стоит довольно популярная технология энергонезависимого освещения со СД-светильниками, солнечными батареями и ветрогенераторами на каждой опоре. Казалось бы, поскольку такое решение дает 100%-ю экономию электроэнергии ввиду отсутствия энергопитания от внешней проводной силовой сети, такие системы должны быть очень выгодны. В действительности же возврат к структуре автономной системы, применявшейся еще в технологии масляно-керосинового освещения, требует в современных условиях квалифицированного обслуживания весьма сложной аппаратуры, находящейся на улице на высоких опорах. Эта аппаратура должна иметь в своем составе контроллер, управляющий светильником от сигнала датчика освещенности или по радиоканалу. Кроме этого, контроллер должен также управлять подзарядом аккумулятора достаточно большой емкости от двух независимых источников и его разрядом на светильник. Очевидно, что такое построение НО приводит к несоизмерно большому начальным и эксплуатационным затратам, поэтому внедрение

такой технологии стоит ожидать только на немногочисленных пилотных проектах. Даже в тех районах, где отсутствует централизованное электроснабжение, строить автономные системы более рационально по традиционным схемам альтернативной энергетики, не дробя генерирующие мощности, а создавая достаточно мощную солнечную/ветряную электростанцию, передающую электроэнергию в сеть НО по специализированной линии электроснабжения. Наблюдая ежедневно аналогичное автономное решение для знаков нерегулируемых пешеходных переходов, нестабильно работающих в условиях северных зим, надежно закрывающих снежным одеялом солнечные элементы, автор каждый раз поражается изобретательности инженеров и недальновидности администраторов, активно внедряющих такие решения на наших улицах.

Тем не менее, сам по себе отказ от существующих сетей электроснабжения в проектах такого рода весьма симптоматичен. Некоторая тяжеловесность трехфазных четырехпроводных сетей освещения, замеченная еще в [6], и возможность преобразования сетей электроснабжения НО в сети постоянного напряжения [5] с учетом неизбежности перехода к техно-

логиям ИНО заставляет нас продолжить анализ в этом направлении.

Выводы и определение направлений дальнейших исследований

Многовековой прогресс НО пришел к очередной светотехнической революции, для свершения которой оказывается недостаточной замена устаревших источников освещения на самые современные.

VI-я светотехническая революция обречена завершиться созданием в XXI в. технологии ИНО, где наиболее важными станут методы интеллектуального управления, которые и обеспечат ей наибольшую эффективность. В отличие от победителей двух последних революций, инновационная технология ИНО не может быть внедрена рядом последовательных частных модернизаций составных частей предыдущей технологии. Действительно, ИНО должна представлять собой принципиально новую технологию с тесным взаимодействием всех ее составляющих, включая управляемые светильники, датчики, исполнительные пункты и оборудование диспетчерской. Ввиду этого на первом этапе создания ИНО необходимо уделить внимание конкретизации требований как к компонентам ИНО, так

и к ИНО в целом, включая каналы управления и электроснабжения. Этим вопросам и будет посвящена третья часть статьи. ●

Литература

1. В. Похлебкин. Моя кухня и мое меню. М.: Центрполиграф. 2004.
2. О. Зотин. Управление освещением открытых пространств // Полупроводниковая светотехника. 2014. № 1–3.
3. Heron (Alexandrinus), Bernardino Baldi. Degli automati, ovvero macchine se moventi. Girolamo Porro. 1589.
4. М. Фарадей. История свечи. М.: Изд. «Наука». 1980.
5. О. Зотин. В преддверии возрождения постоянного тока // Силовая электроника. 2013. № 4–6.
6. О. Зотин, Н. Морозова. Энергосберегающее управление наружным освещением. Возможные принципы построения и сравнительная характеристика вариантов // Светотехника. 2010. № 5.
7. Петербург могут перестать подсвечивать по ночам. Аргументы и факты. Вып. от 4 марта 2015. www.spb.aif.ru/city/gkh/1460438
8. Пресс-релиз ОАО «РусГидро» www.rushydro.ru/press/news/95541.html