



Олег Зотин

Технологии автоматизации в энергоресурсосберегающих сетях освещения

Рассмотрены варианты существующих и перспективных технологий энергоресурсосберегающего управления в сетях наружного (городского) освещения, а также актуальные вопросы автоматизации сетей для различных методов управления. Приведена классификация вариантов технологий энергоресурсосберегающего управления и дана их экономическая оценка. Предложена универсальная технологическая платформа интеллектуальной сети освещения.

При рассмотрении особо сложных явлений необходимо одновременно учитывать множество фактов, которые являются составляющими и детерминантами данного явления, то есть образуют его и им управляют.

Станислав Лем. Сумма технологий

ВВЕДЕНИЕ

Развитие энергосберегающих технологий в наружном освещении неразрывно связано с внедрением интеллектуального управления светильниками. Энергосберегающие пилотные проекты городского освещения, ещё 5 лет назад считавшиеся довольно далёкой перспективой [1], реализуются в России и ряде других стран, при этом энергосбережение обеспечивается не столько за счёт повышения энергоэффективности светильников, сколько за счёт применения энергосберегающих методов управления. Происходит отработка алгоритмов управления, обеспечивающих не только собственно энергосбережение, но и улучшение других эксплуатационных характеристик осветительных установок. Попутно выявляются скрытые ранее возможности энергоресурсосберегающего управления, которые, в свою очередь, заставляют ревизовать требования к осветительным установкам в части характеристик их управляемости.

В настоящей статье рассмотрены опробованные, развивающиеся и гипотетические технологии энергоресурсосберегающего управления в сетях освещения. Используя методологию технологического прогнозирования [2], автор попытался максимально полно выявить резервы энерго- и ресурсосбережения, описать применяемые и перспективные технологии управления, использующие эти резервы, обосновать выбор экономических критериев для сравнения вариантов, определить наиболее перспективные технологии и предложить для их реализации универсальную технологическую платформу.

ХАРАКТЕРИСТИКИ СОВРЕМЕННЫХ ИСТОЧНИКОВ СВЕТА ДЛЯ НАРУЖНОГО ОСВЕЩЕНИЯ

До настоящего времени одним из важнейших энергосберегающих мероприятий на предприятиях наружного освещения считается замена ртутных ламп высокого давления (РЛВД) с эффективностью 40...50 лм/Вт на натриевые лампы высокого давления (НЛВД) с эффективностью 100...150 лм/Вт. В крупных городах России такая замена произведена на подавляющем большинстве осветительных установок. Применяются также и более дорогие

металлогалогенные лампы (МГЛ) с эффективностью 90...120 лм/Вт, которые являются модернизацией РЛВД и обладают спектром, более близким к солнечному. Ограниченное применение находят безэлектродные газоразрядные лампы, такие как индукционные люминесцентные лампы (ИЛ), серные лампы высокого давления (СЛ) и недавно появившиеся безэлектродные металлогалогенные лампы (БМГЛ) [3].

С конца 1990-х годов активно прогрессируют источники света на базе сверхярких голубых светодиодов, покрываемых жёлтым люминофором, —



Освещение Троицкого моста в Санкт-Петербурге

Таблица 1

Сравнение характеристик источников света и осветительных установок для наружного освещения

Типы ИС	Характеристики ИС и ОУ										
	Светоотдача ИС, лм/Вт	Светоотдача ОУ, лм/Вт	K_d	CRI	$T_{сл}$, тыс. ч	$T_{заж}$, с	$T_{пз}$, с	Тип КСС	Цена ОУ, тыс. руб.	Масса ОУ, кг	Содержание ртути, мг
НЛВД	≤150	≤80	2,5	≈25	>40*; >24	≈90	>300	Л и Ш	≈5**; ≈10***	≈8	<35
МГЛ	≤120	≤75	<2	>75	16	>90	>360	Л и Ш	≈8**; ≈13***	≈8	<40
СБС	≤150	≤75	>5	>75	50	<1	<1	Л и Ш	≈25	≈15	0
ИЛ	≤80	≤50	3	>75	60	≈2	<5	Л	≈15	≈10	<1
СЛ	≤110	≤75	5	>90	50	≈30	≈60	Л и Ш	>30	>20	<1
БМГЛ	≤115	≤75	5	72...94	50	≈30	≈60	Л и Ш	>30	>15	<1

* Для так называемых двухгорелочных ламп.

** Для светильников с электромагнитной пускорегулирующей аппаратурой.

*** Для светильников с электронной пускорегулирующей аппаратурой.

Условные обозначения: K_d – коэффициент диммирования (возможное уменьшение светового потока по отношению к номинальному);

CRI (Color rendering index) – коэффициент цветопередачи; $T_{сл}$ – срок службы источника света; $T_{заж}$ – время зажигания источника света (время выхода на 90% светового потока); $T_{пз}$ – время повторного зажигания (время выхода на режим после кратковременного отключения); КСС – кривая силы света (Ш – широкого типа, Л – полужирикая согласно ГОСТ 17677-82).

так называемые сверхъяркие белые светодиоды (СБС). В последние годы светоотдача мощных СБС вышла на уровень, близкий к лучшим натриевым и металлогалогенным лампам высокого давления (ЛВД). В дальнейшем будем рассматривать характеристики СБС с мощностью более 1 Вт, применяемых в уличных светильниках.

Необходимо отметить, что проводимые в ряде научных организаций работы по созданию перспективного многокомпонентного безлюминофорного светодиодного RGB-источника белого света для наружного освещения [4] пока не привели к появлению промышленного образца. По всей видимости, это объясняется сложностью решения двух проблем: проблемы получения большой светоотдачи в жёлто-зелёной части спектра (так называемая проблема «зелёной долины») и проблемы реализации автоматической балансировки компонентов для получения стабильного цвета при изменении температуры светодиодов и их деградации.

В табл. 1 представлены характеристики источников света (ИС) и осветительных установок (ОУ), влияющие на энергоресурсосбережение, включая срок службы, цветопередачу и ряд других параметров. Из-за невозможности реализации требуемой КСС типа Ш, что является неперенным условием для эффективного дорожного освещения при большом расстоянии между опорами, из дальнейшего рассмотрения придётся исключить решения с ИЛ. Для остальных источников света зафиксируем различие в ряде характеристик, которое потребуется нам для рассмотрения более широкого круга вопросов, связанных с возможностью использования резервов энерго- и ресурсосбережения в сетях освещения.

ВЫЯВЛЕНИЕ РЕЗЕРВОВ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ ЗА СЧЁТ УПРАВЛЕНИЯ

В системах управления освещением традиционным способом экономии энергопотребления издавна является отключение в ночное время одной или двух фаз в каждой из отходящих от пункта включения (ПВ) трёхфазных линий освещения. Причём чередование отключаемых фаз позволяло, как правило, сохранить более-менее равномерную пофазную загрузку сети. Такое энергосбережение до начала 1990-х годов считалось вполне допустимым при ночном снижении интенсивности дорожного движения [5], оно обеспечивало суммарную экономию электроэнергии до 15...30%. Однако, как показали позднейшие изыскания, упомянутое дискретное (пофазное) отключение части светильников уличного освещения по совокупности оценок не уменьшает расходы городского бюджета [6]. Оно приводит к ухудшению видимости для водителей, сокращению срока службы ламп, увеличению потерь в распределительных сетях, росту расходов на замену ламп и снижению надёжности работы ОУ. В 2011 году в актуализированной редакции СНиП 23-05-95 (свод правил СП 52.13330.2011 [7]) такая энергосберегающая технология впервые не была рекомендована.

Рекомендованный СП 52.13330.2011 метод энергосберегающего управления предполагает регулирование светового потока каждого светильника (то есть диммирование). При этом допус-

кается снижать уровень освещения в ночное время на 50%, а в вечерние и утренние часы – на 30% и 50% при уменьшении интенсивности дорожного движения в 3 раза (до 33%) и 5 раз (до 20%) соответственно. При таком диммировании экономия электроэнергии может достигать до 30...40% интегрально в течение года, что проиллюстрировано рис. 1.

Существующее управление сетями городского освещения [8] построено по каскадному принципу, при этом каждый из фрагментов каскада содержит ПВ, осуществляющий коммутацию, управление, контроль и учёт электроэнергии, трёхфазные линии питания и собственно светильники. Лампы высокого давления подключаются в светильниках к одной из фаз линии освещения через электромагнитную пускорегулирующую аппаратуру (ЭМПРА). ЭМПРА содержит балластный дроссель, согласующий низкое динамическое сопротивление лампы с напряжением сети, импульсное зажигающее устройство для поджига разряда в лампе и конденсатор, корректирующий коэффициент мощности до приемлемой величины. Таким образом, традиционная схема управления не имеет возможностей диммирования, и требуется серьёзная модернизация

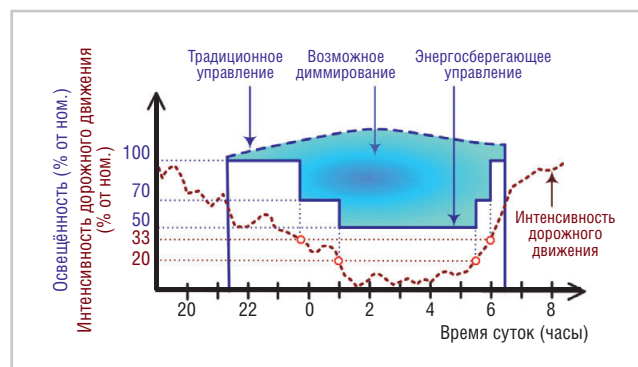


Рис. 1. Возможности энергосбережения при управлении уличным освещением согласно рекомендациям СП 52.13330.2011

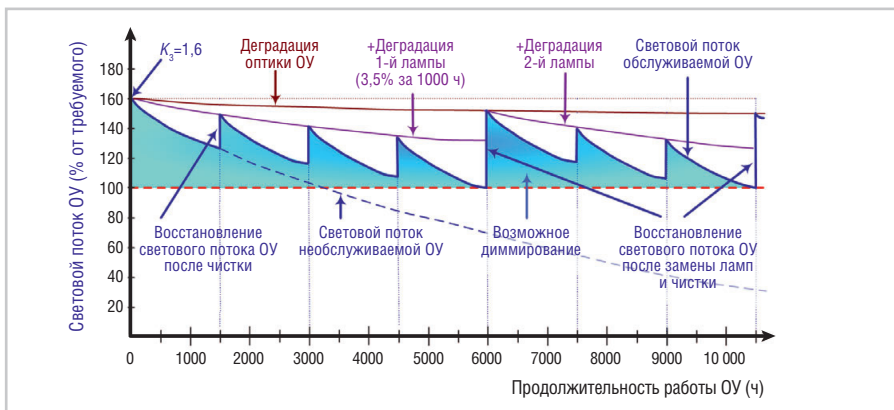


Рис. 2. Возможности энергосбережения за счёт использования проектных запасов по освещённости

ция сети для обеспечения энергосберегающего управления (поэтому далее в статье, где речь идёт о диммировании, подразумевается возможное или специально реализованное решение).

Между тем, даже если будет реализована только стабилизация мощности каждой лампы (групповым или индивидуальным способом), она автоматически обеспечит компенсацию нестабильности (возрастания) напряжения в сети освещения, которая может достигать (особенно в ночное время) до 15% и более. Немаловажной является и возможность экономии за счёт улучшения коэффициента мощности, что может уменьшить полный потребляемый ток на 20% за счёт устранения реактивной мощности.

Дополнительные возможности экономии достигаются за счёт уменьшения потерь в ПРА (до 5%), использования более экономичных режимов работы ПРА и ламп (в том числе режимов без так называемого перезажигания в каждом полупериоде сетевого напряжения), отключения отдельных осветительных установок (например рекламы), использования для диммирования проектных коэффициентов запаса K_3 по световому потоку (этот запас даётся на неизбежную деградацию ламп и загрязнение светильников в процессе эксплуатации). Кроме этого, возможны индивидуальная подстройка начального светового потока под проектное значение на этапе пусконаладки внедряемой линии освещения, а также диммирование при наличии осадков (снег, дождь и туман).

Часть этих возможностей проиллюстрирована на рис. 2 с использованием материалов справочника [8] (стр. 436). При этом предполагается, что контроллер каждого светильника реализует параметрическое управление мощностью лампы, обеспечивая в каждый момент

времени необходимый световой поток светильника. Для управления контроллер использует информацию о коэффициенте запаса по световому потоку, о деградации лампы (зависящей от времени её наработки), о деградации оптики (по времени эксплуатации светильника), о загрязнении светильника (зависящем от ряда факторов, [8]), о времени его чистки и пр. Загрузка данных в контроллер осуществляется из базы данных центральной диспетчерской сети по каналам управления ПВ и светильниками. Возможное энергосбережение при таком управлении можно оценить не более чем в 15%, поскольку невозможно точно учесть влияние всех факторов в процессе эксплуатации.

При этом требуемая кратность диммирования (с учётом ночного режима и использования K_3) может достигать до 3...4 раз, что превышает возможности большинства популярных ЛВД. Такую кратность диммирования обеспечивают СЛ, БМГЛ и СБС. Кроме того, известно, что эффективность СБС (в отличие от всех ЛВД) при диммировании увеличивается. Так, при кратности диммирования в 2 раза эффективность СБС уже превышает эффективность НЛВД примерно в 1,5 раза. Кроме того, СБС при применении в уличных светильниках имеют ещё одно потенциальное

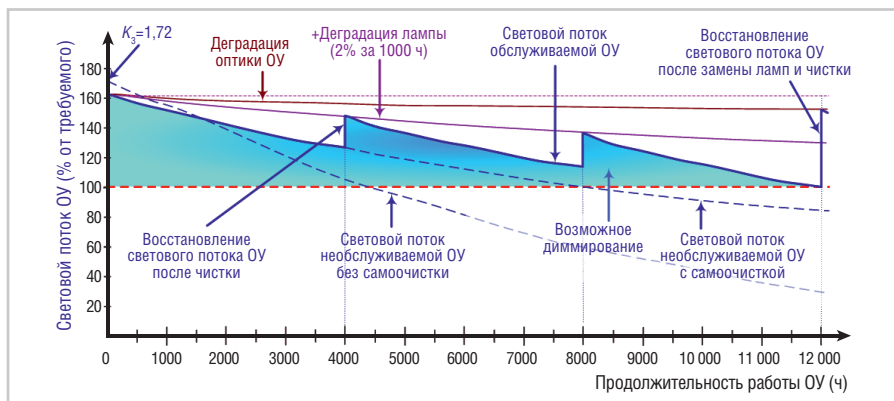


Рис. 3. Обеспечение повышенных показателей энергоресурсосбережения

преимущество — возможность более точной реализации КСС типа Ш. В сумме это может составить ещё до 20% энергосбережения.

Таким образом, суммарная экономия электроэнергии в интеллектуальной сети наружного освещения может достигнуть, а в отдельных случаях и превысить 50%.

Общая экономия в освещении городов России могла бы составить в год до 6×10^{15} Дж, что соответствует уменьшению выбросов CO_2 на 200 тысяч тонн в год.

РЕЗЕРВЫ ПО СРОКУ СЛУЖБЫ ИСТОЧНИКОВ СВЕТА

Известно, что в традиционных сетях освещения ресурс ЛВД при питании от ЭмПРА существенно меньше паспортных значений. При питании же от электронной пускорегулирующей аппаратуры (ЭлПРА) частота отказов ламп снижается в 3 раза (с ~30% отказов за 6000 часов горения до ~10%) [9], уменьшается и деградация их светотехнических характеристик [10]. Причинами этого являются стабилизация мощности ламп во всех режимах эксплуатации, отсутствие пульсаций питающего тока, более мягкие пусковые режимы и отсутствие перезажигания.

На рис. 3 проиллюстрирована возможность двукратного увеличения времени работы ЛВД до замены (с 6000 до 12000 часов) при использовании ЭлПРА (уменьшение деградации с 3,5% до 2% за 1000 часов), небольшом увеличении номинального K_3 (с 1,6 до 1,72) и применении самоочистки покровного стекла светильника. Некоторое уменьшение начального светового потока светильника (до 7%) за счёт поглощения дополнительным самоочищающимся покрытием может быть с лихвой компенсировано эффектом самоочистки, а интервал между чистками ОУ может быть значительно увеличен (в нашем случае — от 1500 до 4000 часов).

Что касается срока службы СБС, то при диммировании он существенно увеличивается, что открывает возможность использовать СБС в номинальном режиме на повышенных токах, оптимизировать количество используемых светодиодов и снизить стоимость светильника.

ДИАГНОСТИКА КАК ФАКТОР СНИЖЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ РАСХОДОВ И ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА РАБОТЫ СЕТИ

Наличие интеллектуальной сети позволяет получать в реальном времени полную информацию о наработке ламп и отказов по каждому светильнику. Это существенно упрощает планирование работ по замене ламп и получение более высокого основного эксплуатационного показателя — так называемого процента горения. При наличии же предотказной диагностики ламп (например, по увеличению напряжения на ЛВД к концу срока службы или по отказу отдельных светодиодов) реально можно создать систему, в которой замена большинства ламп производилась бы до момента погасания. Такая сеть, с одной стороны, будет практически полностью использовать ресурс ламп, а с другой стороны, её надёжность и процент горения будут определяться только интенсивностью внезапных отказов ЭлПРА и драйверов. Факт такого отказа оперативно диагностируется в интеллектуальной сети, что открывает возможность максимального приближения процента горения к 100%.

КЛАССИФИКАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЙ ЭНЕРГОРЕСУРСОБЕРЕГАЮЩЕГО УПРАВЛЕНИЯ В СЕТЯХ НАРУЖНОГО ОСВЕЩЕНИЯ

Всё многообразие технологий энергоресурсосберегающего управления предлагается разбить на пять классов: традиционные технологии, технологии группового управления, технологии с ЛВД + ЭлПРА, технологии с СБС, технологии с безэлектродными лампами.

Кратко рассмотрим каждый из них.

I класс. Традиционные технологии

К первому классу следует причислить технологию работы традиционной сети освещения на ЛВД без режима пофазного отключения (назовём её вар. 1.1). Существует более совершенный вариант этой технологии с удвоенным чис-

лом светильников на каждой опоре или со светильниками с двумя лампами (вар. 1.2), при котором в ночном режиме отключается половина ламп без ухудшения неравномерности освещённости. При внешней простоте реализации такой вариант неизбежно создаёт «перекос» фаз в трёхфазных линиях освещения и является более дорогим при монтаже и в эксплуатации, а энергосбережение обеспечивает относительно небольшое — около 20%.

К этому же классу условно отнесём известную технологию с двухрежимными ЭлПРА (вар. 1.3). В таких ЭлПРА в ночном режиме обеспечивается подключение дополнительного балластного дросселя с обеспечением двукратного диммирования. Интегральное энергосбережение может достигать до 30%. Для реализации этого варианта требуется дополнительная линия управления или таймер в каждом светильнике, а также дополнительные конденсаторы для компенсации изменяющегося коэффициента мощности. Необходимо также учитывать, что при таком управлении происходит мгновенное переключение в режим двукратного диммирования, а это может привести к внезапному погасанию лампы, особенно при большом времени её наработки.

II класс. Технологии группового управления

Ко второму классу необходимо отнести технологии, обеспечивающие групповое управление светильниками путём регулировки напряжения на линиях освещения (ЛО).

При таком управлении (рис. 4) энергоресурсосбережение достигается за счёт стабилизации напряжения в ЛО во всех режимах, уменьшения пусковых токов, уменьшения напряжения сети U_c в ночном и промежуточном режимах. Суммарная экономия энергопотребления также не превышает 30%.

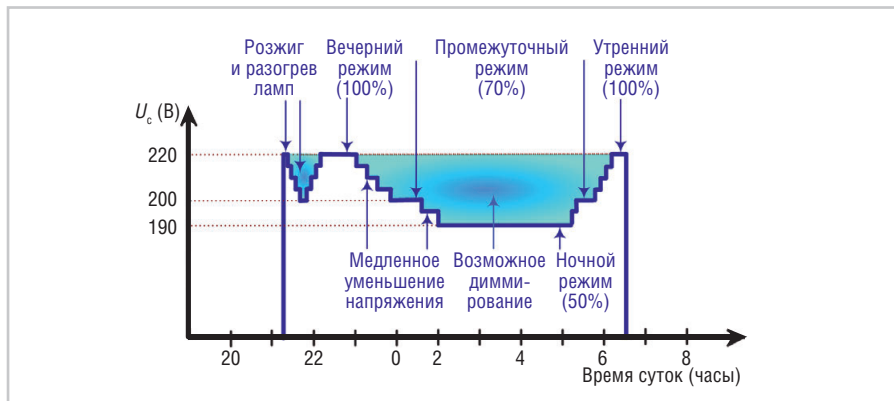


Рис. 4. График изменения напряжения в ЛО при групповом управлении

Эта технология часто реализуется на автотрансформаторах с обмотками, переключаемыми симисторами или контакторами (вар. 2.1). При малом шаге напряжения обмоток (~5 В, рис. 4) и достаточно медленном уменьшении напряжения при диммировании возможность погасания ЛВД практически исключена.

Однако при таком способе управления эффект возрастания рабочего напряжения ЛВД к концу срока службы и разброс в характеристиках ламп (особенно от разных производителей) дополнительно снижают диапазон диммирования ЛВД.

Первые эксперименты в рамках этой технологии проводились в Ленинграде в далёких 1980-х годах. Они получили дальнейшее развитие только в наше время после появления надёжных симисторных ключей.

Меньшее распространение нашли схемы с симисторными фазорегуляторами (вар. 2.2), которые, несмотря на простоту реализации, вносят большие искажения в питающее напряжение и нуждаются в управляемом сетевом корректоре коэффициента мощности.

Существуют и более сложные схемы с конверторами-преобразователями, широко применяемые в других областях (вар. 2.3), однако конкретные их реализации в сетях наружного освещения нам неизвестны. Это, скорее всего, связано с большой стоимостью конверторов и их недостаточной надёжностью.

III класс. Технологии с ЛВД + ЭлПРА

К третьему классу следует отнести технологии с применением управляемых ЭлПРА в светильниках с ЛВД, которые позволяют использовать большинство резервов энергосбережения.

Широко распространены схемы так называемых высокочастотных ЭлПРА

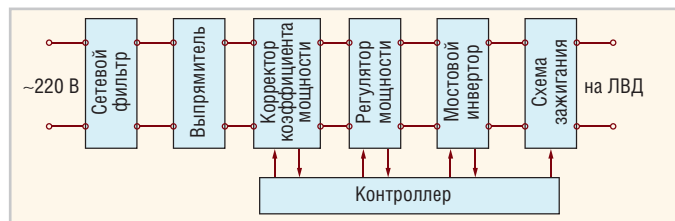


Рис. 5. Популярная схема универсальной низкочастотной ЭлПРА

(вар. 3.1). Они обеспечивают работу только с НЛВД ввиду возможности размещения частоты питания лампы вне зоны акустического резонанса в газовом разряде [10]. При этом частота питания подбирается опытным путём под каждый тип ламп, поскольку ни один производитель не гарантирует диапазона частот, свободного от этого паразитного эффекта, ухудшающего качество света и надёжность ламп. Более того, нет никакой гарантии, что замена лампы НЛВД на лампу другого производителя не приведёт к возникновению акустического резонанса. Для питания МГЛ ведущие производители вообще не рекомендуют использовать частоты, превышающие несколько сотен герц [11]. Ввиду этого необходимо рассмотреть варианты схем универсальной низкочастотной ЭлПРА для питания как НЛВД, так и МГЛ (вар. 3.2).

Один из популярных вариантов такой ЭлПРА [12] показан на рис. 5. Сложность схемы вызвана необходимостью обеспечения питания ЛВД низкочастотным прямоугольным напряжением с регулируемой амплитудой (LFSW – Low-Frequency Square-Wave). Для этого потребовалось четырёхкратное (!) преобразование полной мощности в выпрямителе, корректоре коэффициента мощности, регуляторе мощности и мостовом инверторе. Данная схема насчитывает до 13 силовых полупроводниковых элементов. Важно и то, что электrolитический высокочастотный конденсатор большой ёмкости на выходе корректора коэффициента мощности имеет номинальный срок службы, не превышающий срок службы ЛВД [10], что явно недостаточно.

Автору представляется, что задачу надёжного управления ЛВД необходимо решать путём объединения общих функций (выпрямления и коррекции коэффициента мощности) всех ЭлПРА в одном общем узле, размещаемом в ПВ. За счёт применения в таком узле трёхфазного выпрямления легче получить высокий коэффициент мощности. В светильнике же, питающемся постоянным напряжением, останутся лишь

функции непосредственного управления лампы.

Предлагаемая технология (вар. 3.3), выполненная в этой парадигме, включает в себя силовой трёхфазный выпрямитель, устанавливаемый непосредственно после силового трансформатора, линию постоянного напряжения и светильники с ЭлПРА постоянного тока (ЭлПРАпт) [13]. Одна из возможных функциональных схем ЭлПРАпт показана на рис. 6. В ней обеспечена трёхуровневая широтно-импульсная модуляция с режимом питания ЛВД, близким к LFSW. В ЭлПРАпт не требуется отдельной схемы зажигания, поскольку сам инвертор обеспечивает мягкий режим зажигания, подавая на лампу через резонансный фильтр оптимальную мощность импульса поджига независимо от конкретного значения напряжения её пробы. Из стандартизованных номиналов питающего постоянного напряжения [14] наиболее подходящим в этом варианте является сетевое напряжение ≈ 230 В, при этом для городских сетей большой протяжённости целесообразно использование биполярных сетей, обладающих меньшими потерями. Примеры реализации элементов ЭлПРАпт приведены в [10, 15].

ЭлПРАпт содержит всего четыре силовых транзистора MOSFET, имеет более высокую надёжность и меньшие потери ввиду меньшего сопротивления и большего быстродействия в сравнении с традиционными ЭлПРА на высоковольтных (500...600 В) транзисторах. Инвертор ЭлПРАпт может работать на более высоких частотах, что позволяет также оптимизировать габариты резонансного фильтра.

Необходимо отметить, что в системах аварийного освещения на постоянном напряжении аналогичная технология, но с использованием люминесцентных ламп, является довольно распространённой.

Важно и то, что технологии постоянного тока обладают большей электробезопасностью в сравнении с технологиями переменного тока [16].



Рис. 6. Функциональная схема ЭлПРАпт

IV класс. Технологии с СБС

К четвёртому классу технологий отнесём решения с мощными СБС (вар. 4.1), которые превосходят решения III класса в основном по характеристикам диммирования.

К этому же классу относятся решения с комбинированными светильниками [17], которые сочетают в себе МГЛ, работающие в режиме постоянной мощности, и СБС, имеющие возможность глубокого диммирования (вар. 4.2). Однако такие светильники имеют более сложную электронику и конструкцию.

Наиболее оригинальной в этом классе следует признать технологию автономного электроснабжения линий освещения с СБС (вар. 4.3). При этом каждая ОУ оснащается солнечной батареей и/или малогабаритной ветровой турбиной, аккумуляторным накопителем и соответствующей схемой управления. Управление светильниками в такой сети осуществляется, как правило, по радиоканалу. При отсутствии подключения к электросети (и платы за электроэнергию), низком питающем напряжении (~ 24 В) и всей кажущейся привлекательности такие системы весьма дороги.

Варианты со светодиодными RGB-источниками света не включаем в рассмотрение по причинам, изложенным в разделе «Характеристики современных источников света для наружного освещения».

В существующих мощных уличных светодиодных светильниках пока неудовлетворительно решаются две задачи: эффективного охлаждения СБС и минимизации оптических потерь при получении приемлемого светораспределения. Попытка стандартизации сменяемых двухкомпонентных светодиодных модулей уличных светильников (драйвер + матрица СБС), предпринятая рабочей группой консорциума Zhaga [18], в этих условиях представляется преждевременной.

Дальнейший прогресс в четвёртом классе технологий будет происходить в направлении снижения стоимости светильников, повышения их надёжности

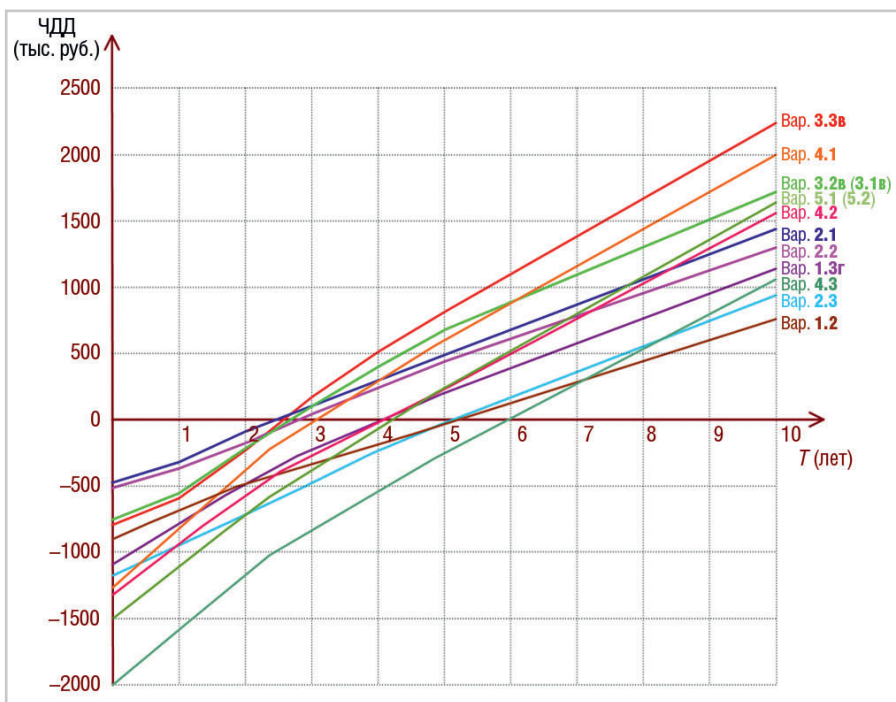


Рис. 7. Сравнение вариантов энергоресурсосберегающих технологий управления

и эффективности. И в этом направлении уже появляются интересные апробированные решения [19].

В класс. Технологии с безэлектродными лампами

В пятом классе представлены варианты технологий с управляемыми безэлектродными лампами высокого давления, а именно СЛ (вар. 5.1) и безэлектродные МГЛ (вар. 5.2). В сравнении с обычными ЛВД эти технологии обеспечивают более глубокое диммирование, а также увеличенный срок службы за счёт безэлектродной конструкции. Однако стоимость таких светильников существенно превосходит стоимость светильников с традиционными ЛВД ввиду возбуждения разряда в БМГЛ диэлектрическим объёмным резонатором и магнетронного возбуждения СЛ.

Дополнительная классификация по способам управления светильниками

По вариантам 1.3, 3.1, 3.2, 3.3, 4.1, 4.2, 5.1, 5.2, в которых используются диммируемые светильники, возможны следующие подварианты, связанные с различными способами управления:

- управление по проводной линии с интерфейсами DALI, DSI, 1...10 V, DMX512, KNX и пр.;
- управление путём коммутации напряжения в линии освещения;
- управление с помощью радиомодема (например ZigBee) или модема сило-

- вой сети (Power Line Communication Modem, или PLC-модем);
- автономное управление от встроенных таймеров, фотодатчиков, датчиков интенсивности движения трансформатора и пр.

Оценка экономической эффективности технологий управления сетями освещения

Наша задача состоит в выявлении наиболее эффективных технологий для реализации пилотного проекта энергоресурсосберегающей сети наружного освещения. Для этого прежде всего необходимо произвести выбор критерия сравнительной оценки вариантов. Очевидно, что при бюджетном финансировании могут рассматриваться только экономические критерии. В духе основных положений федерального закона № 261-ФЗ [20] следовало бы предпочесть критерий совокупной стоимости владения (Total Cost of Ownership – TCO), поскольку он даёт интегральную оценку в течение всего срока службы. В действительности на данном этапе для оптимизации объёма вычислений приходится ограничиться оценкой по чистому дисконтированному доходу (ЧДД) по отношению к базовому варианту. За срок службы принято типовое время эксплуатации системы до капитального ремонта – 10 лет.

При проведении сравнительных расчётов учитывались стоимость основного и вспомогательного оборудования,

затраты на монтаж, пусконаладку, ремонт и эксплуатацию.

В оценке учтены прогнозы по росту тарифов на электроэнергию и цена выделяемой мощности [21].

Расчёт проводился по двухкилометровому участку системы освещения строящейся 2-й очереди Западного скоростного диаметра Санкт-Петербурга. Участок содержит 328 светильников, имеет 8,2 км кабеля линий освещения и обслуживается одной трансформаторной подстанцией и двумя ПВ.

В качестве базового принят вариант 1.1 без отключения фаз.

Результаты оценки представлены в графическом виде на рис. 7.

По каждому из вариантов приводится только один подвариант с наилучшим ЧДД (с соответствующим буквенным обозначением при необходимости).

Лучшие характеристики варианта 3.3в (ЭлПРАпт + PLC-модем) объясняются максимальной экономией электроэнергии при высокой надёжности ЭлПРАпт.

Варианты с наименьшими начальными затратами и малым сроком окупаемости (вар. 2.1 и 2.2) с точки зрения итоговых показателей дают весьма посредственный результат. Таким образом, в нашем случае эти наиболее распространённые критерии оценки потенциальных инвестиций полностью опровергаются на уровне интегральных оценок.

Неудовлетворительные показатели имеют варианты 1.3г (двухрежимный ЭМПРА + таймер), 2.3 (конвертор), 1.2 (двойное число ламп) и 4.3. Очевидно, что оценку перспективного варианта 4.1 (СБС) потребует корректировка при дальнейшем снижении стоимости светодиодных светильников, это же относится и к вариантам 5.1 и 5.2.

Необходимо отметить, что лучшие показатели варианта 3.3в в сравнении с вариантом 3.2в объясняются меньшей ценой и большей надёжностью ЭлПРАпт при питании постоянным напряжением. Очевидно, что, используя постоянное напряжение в сетях со светодиодными светильниками (вар. 4.1) и светильниками на СЛ и БМГЛ (вар. 5.1 и 5.2), также получим прирост в величине ЧДД.

Технологическая платформа интеллектуальной сети управления освещением

В целом можно говорить об универсальной технологической платформе будущей интеллектуальной сети на по-

Компания «ДОЛОМАНТ» получила бессрочную лицензию Рособоронзаказа

20 июля 2012 года научно-производственная фирма «ДОЛОМАНТ» получила бессрочную лицензию Федеральной службы по оборонному заказу (Рособоронзаказа), дающую предприятию право на осуществление разработки, производства и реализации вооружения и военной техники (ВВТ).

Согласно приложению к лицензии разрешены разработка, производство и реализация функциональных устройств, которые реализуют специализированные функциональные задачи и могут являться встроенными системами различного целевого назначения, отнесенными к классу 7015 Единого кодификатора предметов снабжения (ЕКПС).

Следует отметить, что фирма «ДОЛОМАНТ» и ранее имела аналогичные лицензии, выданные Федеральным агентством по промышленности (Роспром, упразднённым в 2008 году) на 5-летний период применительно к более широкой номенклатуре выпускаемой ею продукции — ЕКПС 5963, 7015, 7031, 7055. Именно эти группы и были указаны в заявлении фирмы на переоформление лицензий. Однако, как следует из официального ответа Рособоронзаказа,

«деятельность юридического лица ЗАО «НПФ «ДОЛОМАНТ» в отношении следующих видов продукции: информационные системы (ЕКПС 7055), системы обработки данных специального назначения, программное обеспечение (ЕКПС 7031), микромодули, микросборки (ЕКПС 5963), — не может быть отнесена к деятельности в области ВВТ и, следовательно, для её осуществления не требуется специальное разрешение (лицензия)».

Стало быть, то, что ранее Роспром относил к ВВТ, Рособоронзаказ к ВВТ сегодня не относит. Это яркая иллюстрация того, что нормативный пробел в области терминологии, приводящий к разночтениям типа: «Резистор — это ВВТ, или не ВВТ?» — продолжает и сегодня иметь место.

Успешному лицензированию НПФ «ДОЛОМАНТ», несомненно, поспособствовал тот факт, что на предприятии еще с 2006 года внедрена, сертифицирована в системе добровольной сертификации «Военный регистр» и поддерживается в рабочем состоянии система менеджмента качества (СМК) на

соответствие ГОСТ Р ИСО 9001-2008 и ГОСТ РВ 15.203-2003, так как их требования практически полностью совпадают с лицензионными требованиями, установленными законом Российской Федерации «О лицензировании отдельных видов деятельности» (№ 99-ФЗ от 04.05.2011 г.) и «Положением о лицензировании в области ВВТ», утверждённым постановлением Правительства РФ № 581 от 13 июня 2012 г.

Предшествовавший лицензированию внешний инспекционный аудит СМК ЗАО «НПФ «ДОЛОМАНТ» подтвердил действие имеющегося сертификата соответствия СМК ЗАО «НПФ «ДОЛОМАНТ» применительно к разработке, производству и постав-

ке практически всей номенклатуры выпускаемой продукции в соответствии с кодами ЕКПС 5963, 5995, 5998, 6210, 6220, 6230, 6240, гр. 70, 7240.

Таким образом, компания «ДОЛОМАНТ» в очередной раз подтвердила свою надёжность как участника выполнения работ в рамках гособоронзаказа.



стоянном напряжении, на базе которой возможно внедрение энергоресурсосберегающего управления с использованием всех прогрессивных типов источников света: НЛВД, МГЛ, СБС, БМГЛ, СЛ, а также перспективных светодиодных RGB-источников.

В состав платформы войдут сетевые AC/DC-преобразователи и шкафы для потребителей I и II категорий электропитания, адаптированная технология передачи информации по силовой сети, отечественные светильники на лампах высокого давления и на светодиодах, центральный диспетчерский пункт с возможностью обслуживания сотен тысяч управляемых светоточек и собственно средства автоматизации, обеспечивающие активно-адаптивное управление светильниками.

В качестве средств автоматизации планируется использовать модули FASTWEL I/O отечественного производства [22], включая контроллер узла сети СРМ713 и модули расширения: модуль реле DIM713, а также модуль ввода постоянного напряжения АИМ728. Планируется разработка модулей для реализации PLC- и GSM/GPRS-модемов, счётчика электроэнергии, панели управления.

Диспетчерское управление сетью, кроме решения известных задач автоматизированного управления [1] и задач энергоресурсосбережения, должно обеспечивать возможность адресного управления каждым светильником, географическую привязку его к опоре, автоматизированное вычисление процента горения для каждого ПВ, эксплуатационного района и для сети в целом, контроль несанкционированных подключений, прогнозирование выхода из строя ламп, планирование работ по их замене и т.п.

Таким образом, энергоресурсосберегающая интеллектуальная система управления обязана обеспечивать не только обычное технологическое обслуживание сетей освещения (включение светильников, контроль целостности предохранителей, энергоучёт и т.п.), но и непосредственно управлять освещённостью автодорог. В настоящее время управление носит сугубо параметрический характер ввиду сложностей собственно измерительного процесса [23]. Назрела необходимость создания мобильных измерительных лабораторий, обеспечивающих измерения с географической привязкой к каждой ОУ, с самым автоматизированным вводом

результатов в систему управления. Периодическое проведение такого мониторинга (например, после каждой чистки светильников) и соответствующая корректировка управляющих воздействий позволят обеспечить заданную освещённость с минимальной её неравномерностью и уменьшить слепящее действие [8] (стр. 322), что позитивно скажется на безопасности дорожного движения.

Очевидно, что описанные технологии целесообразно применять не только в городском освещении, но и на тех объектах, где в настоящее время используются ЛВД. Это автодороги, порты, аэродромы и космодромы, большие производственные, складские и торговые территории, таможенные терминалы, тепличные хозяйства, крупные спортивные сооружения, офисные здания, супермаркеты, железная дорога, метрополитен и пр.

К примеру, на российских железных дорогах принято вместо НЛВД использовать РЛВД ввиду более высокого значения CRI. Так что при замене устаревших сетей освещения с РЛВД на энергоресурсосберегающие интеллектуальные сети с СБС и МГЛ экономический эффект будет здесь существенно выше, чем в сетях городского освещения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ВЫВОДЫ

«Война переменного и постоянного тока» продолжается, несмотря на авторитетное заявление о её окончании [24], прозвучавшее 5 лет назад.

Наряду с успешно существующими «анклавами» сетей постоянного напряжения на электротранспорте, в сверхдальних линиях электропередачи, кабельных линиях, системах аварийного освещения и подсистемах оперативного тока в энергетике появились многочисленные проекты систем электропитания крупных серверных центров [25], частных домовладений [26], больших контейнеровозов [27] и микросетей постоянного напряжения [28].

Прогресс в электронике, светотехнике и автоматизации приводит к появлению ещё одного «плацдарма» для развития наступления постоянного напряжения — интеллектуальных сетей освещения. Обособленность этих сетей и наличие всего одного типа потребителей — управляемых светильников — неизбежно инициирует возврат к биполярным эдисоновским сетям освещения [29]. Основоположник трёхфазных сетей переменного напряжения М.О. Доливо-

Добровольский ещё в 1919 году [30] предсказал, что переход на сети постоянного напряжения станет целесообразным после появления технологии трансформации постоянного напряжения.

Сравнительная технико-экономическая оценка различных технологий энергоресурсосберегающего управления показала перспективность создания технологической платформы сетей освещения с линиями постоянного тока и эффективными источниками света, что обеспечит экономию электроэнергии до 50% при быстрой окупаемости инвестиций. ●

ЛИТЕРАТУРА

1. Зотин О.Т. Автоматизированные системы управления наружным освещением. Актуальные вопросы проектирования и эксплуатации, перспективы развития // СТА. — 2008. — № 1.
2. Martino J.P. Technological Forecasting for Decision Making. — Second edition. — NY: North-Holland, 1983. — ISBN 0-444-00722-9.
3. Новые безэлектродные компактные МГЛ с электронным ПРА: Реферат Е.И. Розовского материалов сайта www.luxim.com // Светотехника. — 2011. — № 5.
4. Цацульников А.Ф. и др. Мост через «зелёную долину». По пути к RGB-источникам света [Электронный ресурс] // 8-я Всероссийская конференция «Нитриды галлия, индия и алюминия: структуры и приборы», 26.05.2011, СПб. — Режим доступа: http://nitrides-conf.ioffe.ru/041-050_leds.pdf.
5. Энергосбережение в освещении / под ред. Ю.Б. Айзенберга. — М.: Знак, 1999.
6. Методика расчёта тарифов на техническое обслуживание установок наружного освещения Санкт-Петербурга и его пригородов [Текст] : [утв. распоряжением Комитета экономического развития, промышленной политики и торговли Администрации Санкт-Петербурга 17.07.2003 № 31-р].
7. СП 52.13330.2011. Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95. — М.: Министерство регионального развития РФ, 2011.
8. Справочная книга по светотехнике / под ред. Ю.Б. Айзенберга. — 3-е изд., перераб. и доп. — М.: Знак, 2007.
9. Прикупец Л.Б., Меркулова А.П., Георгобани С.А. и др. Исследование изменения световых и электрических параметров НЛВД в процессе эксплуатации в уличных ОУ [Электронный ресурс] // Материалы Российской национальной светотехнической интернет-конференции, апрель 2009. — Режим доступа: <http://nsk2009.svetotech.com/?p=1225>.

10. Евстифеев А. Особенности построения балластов для ламп высокого давления (HID lamp ballasts) // Силовая электроника. — 2008. — № 3.
11. Van Casteren D.H.J., Hendrix M.A.M., Duarte J.L. Controlled HID Lamp-Ballast // IEEE Transactions on Power Electronics. — May 2007. — Vol. 22. — No. 3. — Pp. 780–788.
12. Tom Ribarich. Shedding Light on HID Ballast Control // Power Electronics Technology. — Oct. 2006.
13. Пат. 80087 РФ, МПК H05B37/02 (2006.01). Ресурсо- и энергосберегающая система освещения постоянного тока / Зотин О.Т.; ОАО «НИИТМ». — 2008132134/22; заявл. 01.08.08; опубл. 20.01.09.
14. ГОСТ 21128-83. Системы электропитания, сети, источники, преобразователи и приёмники электрической энергии. — М.: Издательство стандартов, 1995.
15. F. Javier Dfaz, Francisco J. Azcondo, Rosario Casanueva, et al. Digital Control of a Low-Frequency Square-Wave Electronic Ballast With Resonant Ignition // IEEE Transactions on Industrial Electronics. — September 2008. — Vol. 55. — No. 9.
16. Манойлов В.Е. Основы электробезопасности / 3-е изд., перераб. и доп. — Л.: Энергия, 1976.
17. Поляков В., Рожков Д. Интеллектуальный электронный балласт комбинированного светотехнического прибора // Силовая электроника — 2010. — № 2.
18. Zhaga specification development process [Электронный ресурс]. — Режим доступа : <http://www.zhagastandard.org/specifications/process.html>.
19. Туркин А. Применение светодиодов в светотехнических решениях: история, реальность и перспективы // СТА. — 2011. — № 2.
20. Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации [Текст] : фед. закон от 23 ноября 2009 г. № 261-ФЗ.
21. Об определении ценовых параметров торговли мощностью на оптовом рынке электрической энергии (мощности) переходного периода [Текст] : постановление Правительства РФ от 13 апреля 2010 г. № 238.
22. Распределённая система управления FASTWEL I/O [Электронный ресурс]. — Режим доступа : <http://www.fastwel.ru/products/238995/>.
23. Живописцев И.Ф., Коробко А.А., Черняк А.Ш. Проблемы нормирования и контроля освещения российских автодорог и пути их решения // Светотехника. — 2011. — № 6.
24. A/C but no D/C: last Con Edison direct current customer is history [Электронный ресурс]. — Режим доступа : <http://www.coned.com/newsroom/news/pr20071115.asp>.
25. My Ton, Brian Fortenbery, William Tschudi. DC Power for Improved Data Center Efficiency [Электронный ресурс]. — Режим доступа : http://hightech.lbl.gov/documents/DATA_CENTERS/DCDemofinalReport.pdf.
26. Pinomaa A., Ahola J., Kosonen A. Power-Line Communication-Based Network Architecture for Low-Voltage Direct Current Distribution System // Proceedings of the 15th IEEE International Symposium on Power Line Communications and Its Applications (ISPLC), 3–6 April 2011.
27. Direct current surging back to sea [Электронный ресурс]. — Режим доступа : <http://www.abb.ru/cawp/seitp202/0f5012e931f12dabc12579ae00557dd2.aspx>.
28. Paul Savage, Robert R. Nordhaus, Sean P. Jamieson. DC Microgrids: Benefits and Barriers : Analyses written at the request of REIL. — Yale School of Forestry & Environmental studies, 2010.
29. Система электрического освещения. System of electric lighting : пат. 239152 США / Thomas A Edison ; заявл. 30.10.1880 ; опубл. 22.03.1881.
30. Доливо-Добровольский М. Избранные труды (о трёхфазном токе). — М., Л.: Госэнергоиздат, 1948.

E-mail: o_zotin@mail.ru