

Энергоресурсосберегающее управление в наружном освещении.

Возможные принципы построения, сравнительная оценка вариантов

О.Т. ЗОТИН, Н.О. МОРОЗОВА

(ОАО "НИИ ТМ", Санкт-Петербург, Россия)

Аннотация

Рассмотрены варианты существующих и перспективных технологий энергоресурсосбережения при управлении наружным освещением.

Приведены результаты сравнительной экономической оценки их применения.

Ключевые слова. Наружное освещение, энергоресурсосбережение, управление, чистый дисконтированный доход.

1. Введение

Внедрение энергосберегающих технологий в наружном освещении (НО) с каждым годом становится всё актуальнее. Известны несколько программ (пилотных проектов), реализованных в Европе, в Северной и Южной Америке, направленных как на увеличение экономичности собственно светильников, так и на обеспечение энергосберегающих способов управления.

Очевидно, что идёт процесс накопления результатов опытной эксплуатации систем и оборудования в рамках этих пилотных проектов.

Авторы предприняли попытку рассмотреть опробованные на практике, развивающиеся и даже гипотетические технологии энергоресурсосбережения в НО с целью определения наиболее перспективных вариантов. Для этого, в соответствии с методологией технологического прогнозирования [1], нам предстоит последовательно ответить на следующие вопросы:

- а) в чем заключаются возможные резервы энерго- и ресурсосбережения?
- б) в каких технологиях возможно реализовать эти резервы и какие результаты достижимы при их внедрении?
- в) каковы сравнительные критерии оценки вариантов?
- г) каковы результаты сравнения?

2. Возможные резервы энергосбережения в НО

Прогресс в области источников света для наружного освещения привел к использованию в установках освещения наиболее энергоэффективных газоразрядных ламп высокого давления. В наружном освещении применяются натриевые лампы высокого давления (НЛВД), а также, в отдельных случаях, более дорогие металлогалогенные лампы (МГЛ), обладающие спектром, более близким к спектру Солнца. Эти типы ламп практически полностью вытеснили ртутные лампы высокого давления (ЛВД). Оба типа ламп высокого давления (ЛВД) оснащаются пускорегулирующей аппаратурой (ПРА), обеспечивающей их питание от сети переменного тока.

В последние годы появились решения со сверхяркими голубыми светодиодами покрываемыми желтым люминофором – т.н. сверхяркими белыми светодиодами (СБС).

На рис.1 представлена оценка прогресса в светоотдаче применяемых в НО источников света по материалам фирмы OSRAM [2] в редакции авторов. Из него следует, что ни один из трех лидирующих типов источников света не получит в ближайшие 5...10 лет решающего преимущества по светоотдаче.

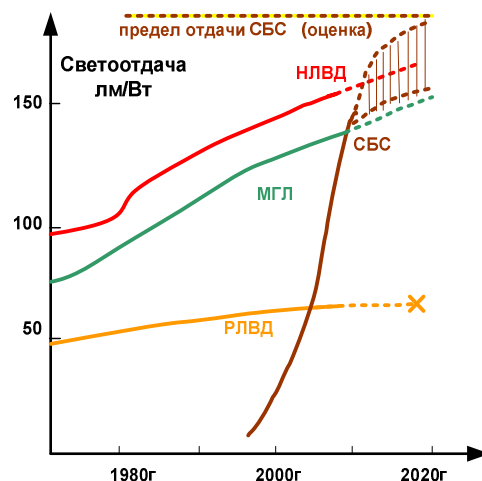


Рис 1. Светоотдача источников света, применяемых в НО

Необходимо отметить, что стремительно прогрессирующая светоотдача СБС по оценке ряда специалистов приближается к своему теоретическому пределу; а характеристики их перспективного «безлюминофорного» конкурента в лице многокомпонентной светодиодной сборки пока не поддаются оценке.

Таким образом, в ближайшие годы вряд ли следует ожидать существенного прорыва в деле энергосбережения в НО от применения более совершенных источников света.

Для выяснения возможных резервов энергоресурсосбережения рассмотрим структуру существующих установок НО[3]. Они, как правило, включают в себя понижающий трансформатор 10кВ/380В, 3ф, 50Гц; пункт включения (ПВ), осуществляющий коммутацию, управление, контроль и энергоучет, трёхфазные линии НО и собственно светильники. Лампы высокого давления НЛВД и МГЛ подключаются в светильниках к одной из фаз через электромагнитную пускорегулирующую аппаратуру (ЭмПРА), которая содержит балластный дроссель, согласующий нелинейное сопротивление лампы с напряжением сети, импульсное зажигаю-

щее устройство, обеспечивающее поджиг разряда в лампе, и конденсатор, корректирующий коэффициент мощности до приемлемой величины.

Традиционный способ экономии энергопотребления при управлении такими установками, заключается в отключении 1/3 или 2/3 светильников в ночное время (на 4...5 часов), когда снижается активность городского населения и интенсивность дорожного движения [4]. Такой простейший способ экономии обеспечивает суммарную экономию электроэнергии до 15...30%, но создает чрезвычайно большую неравномерность освещенности и, поэтому не рекомендуется для использования международной комиссией по освещению МКО ввиду негативного влияния на безопасность дорожного движения [5]. В Москве и Санкт-Петербурге такое пофазное отключение не используется.

Рекомендованный МКО метод энергосбережения предполагает уменьшение уровня освещения от каждого светильника (т.н. диммирование). При этом, согласно СНиП 23-05-95 [6], разрешается снижать уровень освещения в ночное время на 50%, а в вечернее и утреннее время на 30% и 50% при уменьшении интенсивности дорожного движения в 3 и 5 раз соответственно. При реальном времени ночного режима (около половины всего времени горения) на одном только диммировании экономия может достигать до 20...25%.

Экономить можно также за счет стабилизации напряжения на каждой лампе групповым или индивидуальным способом, компенсируя нестабильность напряжения в сети, которая может достигать (особенно в вечернее время) до 15% и более. Не стоит забывать и о возможности экономии за счет улучшения коэффициента мощности. Только увеличение $\cos\phi$ с величины 0,8...0,85 (обычной для светильников НО) до вполне достижимой 0,98 позволяет уменьшить полный потребляемый ток на 20%. Экономия эта, к сожалению, будет в большей степени мифической, поскольку за реактивную мощность в РФ платить пока не принято.

Дополнительные возможности экономии заключаются в следующем:

- уменьшении потерь в ПРА ($\approx 5...10\%$),
- использовании более экономичных режимов работы ПРА и ламп, в том числе без т.н. «перезажигания» ($\approx 5...10\%$),
- уменьшении проектных запасов по освещенности с учетом старения ламп и учета их загрязнения и периодической чистки ($\approx 5...20\%$).

Кратность требуемого регулирования мощности при использовании всех возможных резервов энергосбережения может достигать до 3 раз от номинальной. Такое диммирование пока не обеспечивается большинством производителей ЛЛВД, хотя отдельные производители уже заявили о выпуске таких ламп. При этом в расчетах необходимо учитывать, что эффективность ЛВД при диммировании существенно снижается, а у некоторых типов ЛВД глубина диммирования без существенного

ухудшения спектральных характеристик (индекса цветопередачи) не превышает 30%.

Тем не менее, авторы полагают, что суммарный результат экономии электроэнергии в 40...45% реально достигим.

Общая экономия электроэнергии при внедрении энергосберегающих технологий в наружном освещении в десяти крупнейших городах России может достигнуть $3 \cdot 10^{15}$ Дж в год, что соответствует уменьшению выбросов CO_2 не менее, чем на 100 тысяч тонн в год.

3. Возможные резервы ресурсосбережения в НО

Есть несколько факторов, позволяющих говорить о существенных резервах ресурсосбережения в установках НО.

Один из важнейших факторов связан со сроком службы источников света. Хорошо известно, что в реальных установках НО ресурс ЛЛВД ведущих производителей в 2...3 раза меньше паспортных значений. В одном из последних исследований ВНИСИ и Моссвета [7] представлены результаты, полученные на реальных установках НО, которые показали, что частоту отказов ЛЛВД при использовании электронной пускорегулирующей аппаратуры (ЭлПРА) возможно уменьшить в 3 раза (с $\sim 30\%$ отказов за 6000 час горения до $\sim 10\%$). Основными причинами этого, вероятнее всего, являются стабилизация ЭлПРА режима ламп во всех режимах эксплуатации, «мягкие» пусковые режимы и отсутствие «перезажигания» на каждом полупериоде сетевого напряжения. Эти же причины вызывают меньшую деградацию светотехнических характеристик ЛВД [8] при применении ЭлПРА.

При проведении сравнительных расчетов различных вариантов технологий энергоресурсосбережения необходимо также учитывать стоимость основного (светильники, силовые и управляющие кабели и др.) и вспомогательного оборудования, затраты на его монтаж, ремонт и эксплуатацию. Например, применение ЭлПРА дает с одной стороны экономию электроэнергии, экономию в сечении силовых кабелей, увеличение срока службы ламп и уменьшение затрат на их периодическую замену, с другой стороны, стоимость светильников может существенно возрасти.

Не следует забывать и о влиянии ночного освещения на такой важнейший «ресурс», как здоровье людей. Последние исследования, в частности [9, 10], указывают на реальность опасности роста количества раковых заболеваний при нарушении циркадианных ритмов, вызываемых торможением синтеза гормона мелатонина под воздействием ночного освещения. Диммирование позволяет уменьшить эту потенциальную опасность. В [9, 10] рекомендуется для этой цели дополнительное уменьшение синей составляющей спектра ночного освещения, что реализуется, например, при диммировании некоторых типов ЛВД.

4. Возможные варианты технологий энергоресурсосбережения в НО

Энергоресурсосберегающие решения (или технологии) в сфере НО следует подразделить на несколько групп (направлений).

К первой из них следует причислить описанные выше традиционные схемы пофазного отключения (вариант 1), а также их более совершенный вариант с удвоенным числом светильников на каждой опоре (вар.2). Такая модернизация традиционной схемы обеспечивает равномерность освещенности в ночном режиме и подкупает своей простотой. Однако она весьма затратна как при монтаже, так и при эксплуатации.

К этой же группе условно можно отнести известное решение с двухрежимными ЭМПРА (вар.3), обеспечивающее уменьшение освещенности в ночном режиме до 50% с экономией энергопотребления до 30% за счет подключения в каждом светильнике дополнительного балластного дросселя в ночном режиме. Такое решение было первым энергосберегающим решением, обеспечивающим индивидуальное диммирование ламп. Однако для его реализации требуется, как минимум, дополнительная линия управления и дополнительные компенсирующие конденсаторы в каждом светильнике. Необходимо также учитывать, что при таком решении происходит мгновенное переключение в режим диммирования, что не рекомендуется производителями ЛВД. При таком диммировании возникает опасность внезапного погасания лампы, существенно возрастающая при увеличении времени её работы.

Ко второй группе решений необходимо отнести технологии, обеспечивающие «групповое» управление светильниками путём регулировки общего выходного напряжения на линиях освещения (ЛО), отходящих от ПВ.

На рис.2 представлен пример графика изменения напряжения в ЛО при групповом управлении по материалам фирмы Lumtec [11] в интерпретации авторов.

Энергосбережение достигается за счет стабилизации напряжения в ЛО, некоторого уменьшения пусковых токов, регулирования напряжения сети U_c в ночном режиме до 190 или 175 В для НЛВД и РЛВД соответственно. В решениях этой группы экономия энергопотребления не превышает 30%.

Из этой группы решений наиболее широко применяется вариант с управляемым переключением обмоток автотрансформатора с помощью симисторов или контакторов (вар.4). При малом шаге напряжения переключения обмоток (~5В) исключается возможность погасания ЛВД при таком диммировании.

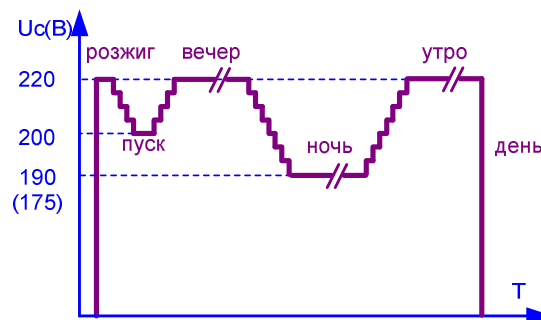


Рис 2. График изменения напряжения в ЛО при групповом управлении

Однако, эффект возрастания напряжения ЛВД к концу срока службы и разброс характеристик ламп не даёт возможности использовать полностью диапазон диммирования при таком способе управления. Кроме этого, управляемые трансформаторы приводят к увеличению габаритов ПВ до 2-х раз.

Меньшее распространение нашли схемы с симисторными фазорегуляторами (вар.5), которые, несмотря на простоту реализации регулирования, требуют дополнительного управляемого компенсатора коэффициента мощности.

Существует возможность использования более сложных схем с конверторами-преобразователями, довольно широко применяемыми в других обла-

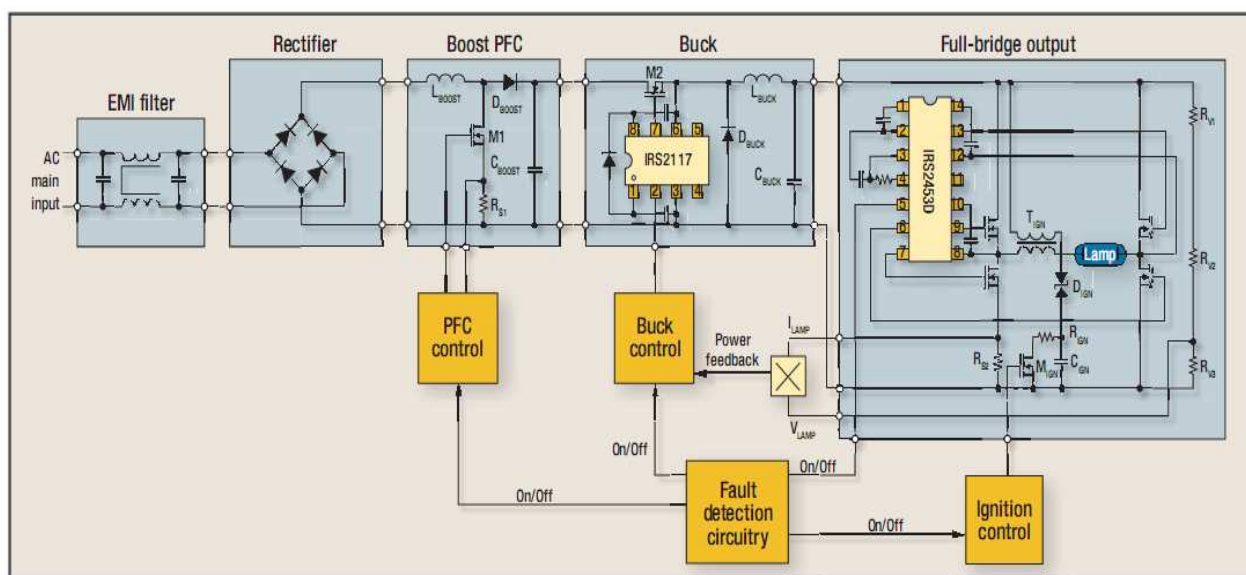


Рис.3 Функциональная схема универсальной ЭлПРА

тях (вар.6), однако конкретные реализации такого варианта в НО нам неизвестны. Это, скорее всего, связано с низкой надёжностью и высокой стоимостью подобных решений.

К третьей группе решений авторы относят варианты с применением управляемых ЭлПРА в светильниках, что принципиально обеспечивает наивысший процент экономии электроэнергии. А именно до 40...45%.

Такого рода ЭлПРА (или электронные балласты) дают возможность использования всех резервов по повышению энергоэффективности в НО, однако, их функциональная сложность приводит к проблемам в получении высокой надежности и низкой стоимости. Известные схемы т.н. «высокочастотных» ЭлПРА [8] обеспечивают надёжную работу только с НЛВД ввиду возможности размещения частоты питания лампы (~1...100КГц) вне зоны акустического резонанса в газовом разряде. Для питания МГЛ ведущие производители не рекомендуют использовать частоты, превышающие нескольких сотен Гц (а это годится и для питания НЛВД). Один из вариантов функциональной схемы универсальной «низкочастотной» ЭлПРА (вар.7) для управления как НЛВД, так и МГЛ показан на рис.3. Схема заимствована из широко известной статьи [12] Tom Ribarich, Shedding Light on HID Ballast Control. Сложность схемы вызвана необходимостью обеспечения питания ЛВД низкочастотным регулируемым прямоугольным напряжением (общепринятая аббревиатура - LFSW). Для этого необходимо четырёхкратное преобразование полной мощности в выпрямителе (rectifier), компенсаторе коэффициента мощности (boost PFC), регуляторе тока (Buck) и выходной мостовой схеме (full bridge output).

Эта схема насчитывает до 13 силовых полупроводниковых элементов, работающих при напряжениях до 400...450В, при этом требуется обеспечить работу схемы в диапазоне температур минус 40...+80°С. Необходимо также учитывать, что электролитический высокочастотный конденсатор C_{boost} на выходе PFC имеет в условиях эксплуатации номинальный срок службы, сравнимый со сроком службы лучших ЛВД [8], что явно недостаточно.

При ближайшем знакомстве с такого рода схемами хотелось бы, в отличие от уважаемого автора, проливать слёзы, а отнюдь не свет. Задачу создания надёжного и дешевого балласта для линий НО необходимо решать объединением общих функций ЭлПРА (выпрямление и компенсация коэффициента мощности) и переносом их решения в ПВ или трансформаторную подстанцию (ТП). В светильнике останутся лишь функции непосредственного регулирования мощности.

Предлагаемый вариант (вар.8) включает в себя силовой выпрямитель, устанавливаемый непосредственно после силового трансформатора в ТП (или ПВ), линию постоянного напряжения $U_c=150...220В$ и светильники с ЭлПРА постоянного тока (ЭлПРАпт) [13]. Одна из возможных реализаций ЭлПРАпт показана на рис 4. Такая схема может обеспечить резонансное зажигание ЛВД и

трёхуровневую широтно-импульсную модуляцию с режимом питания ЛВД, близким к LFSW. Примеры реализации элементов ЭлПРАпт рассмотрены в [8,14]. Рассматриваемая схема ЭлПРАпт содержит всего четыре силовых MOSFET транзистора и имеет, в связи с этим, более высокую надежность. Современные транзисторы на напряжение до 300В имеют меньшие потери по сравнению с аналогичными элементами традиционных ЭлПРА. Это обусловлено их существенно меньшим сопротивлением и большим быстродействием по сравнению с аналогичными элементами схем традиционных «высокочастотных» и «низкочастотных» ЭлПРА, которые должны быть рассчитаны на напряжение до 500...600В. Большое быстродействие транзисторов, применяемых в ЭлПРАпт, обеспечивает также работу мостовой схемы на более высоких частотах, что позволяет уменьшить габариты используемых дросселей и конденсаторов.

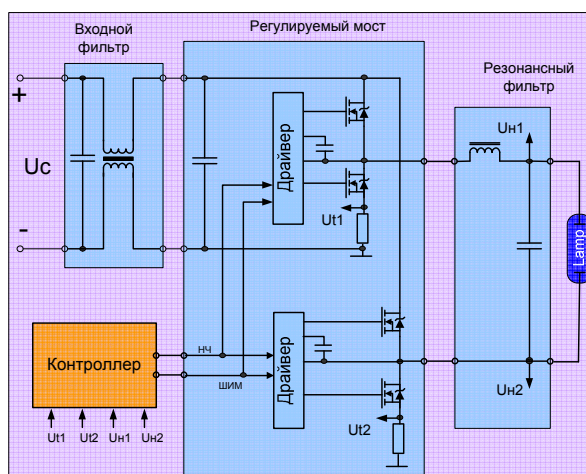


Рис.4 Функциональная схема ЭлПРАпт

К четвёртой группе решений авторы относят решения с СБС (вар.9), которые, не обладая решающим преимуществом по светоотдаче и имеющие в сравнении с ЛВД большую стоимость, превосходят их по сроку службы и по возможностям управления (в т.ч. по характеристикам диммирования). К этой же группе можно отнести решения с комбинированными светильниками [15], которые сочетают в себе экономичные ЛВД и СБС с возможностью глубокого диммирования (вар.10), а также с изменением спектра излучения согласно [10]. Однако комбинированные светильники имеют более сложную электронику и конструкцию.

Возможный прогресс в четвёртой группе решений возможен, на взгляд авторов, только при существенном снижении стоимости светильников с СБС и повышении их надежности; очевидно, что это повлечёт за собой и корректировку наших оценок.

По вариантам 3, 7, 8, 9 и 10 в которых используются регулируемые (диммируемые) светильники, возможны следующие подварианты, связанные с различными способами управления:

а) управление светильниками по дополнительной командной линии с общепринятыми интерфейсами DALI, DSI, 1-10V, DMX512;

б) управление светильниками путем коммутации напряжения (тока) в линии НО;

в) управление светильниками с помощью радиомодема (например по технологии ZigBee) или модема, работающего непосредственно по силовой сети (т.н. PLC модема);

г) автономное управление светильниками от встроенных таймеров.

Вышеприведенные варианты авторы рассматривают в качестве «нижнего» уровня автоматизированной системы управления наружным освещением (АСУНО), а именно уровня группового и индивидуального управления коммутаторами, регуляторами и светильниками. Очевидно, что ряд из этих вариантов уже реализован, другие вполне могут быть реализованы, а некоторые, скорее всего, не будут реализованы никогда.

4. Оценка экономической эффективности

В оценке эффективности энергоресурсосберегающих технологий НО принимались во внимание затраты по каждому из вариантов в течение расчетного периода в 6 лет.

С целью оптимизации объема вычислений при оценке эффективности учитывалась разница в показателях между каждым конкретным вариантом и типовым вариантом (вар.1). При этом имелось в виду, что в типовом варианте «ночной» режим с пофазным отключением не используется.

Кроме упомянутых выше показателей энерго- и ресурсосбережения в оценке учтены прогнозы по росту тарифов на электроэнергию по РФ [16] и цена «выделяемой» мощности [17].

Расчет проводился по фрагменту системы НО участка магистрали, имеющему 328 светильников, 8,2 км линий освещения и обслуживаемому одной ТП и 2-мя ПВ.

Сравнение вариантов произведено по чистому дисконтированному доходу (ЧДД) от дополнительных (относительно типового варианта №1) вложений. Ставка дисконтирования принята равной 20%.

Предварительные результаты оценки ограниченного круга вариантов с учетом меньшего числа возможностей энергоресурсосбережения были представлены в табличном виде в [18]. Для большей наглядности и информативности результаты оценки представлены в графическом виде на рис.5.

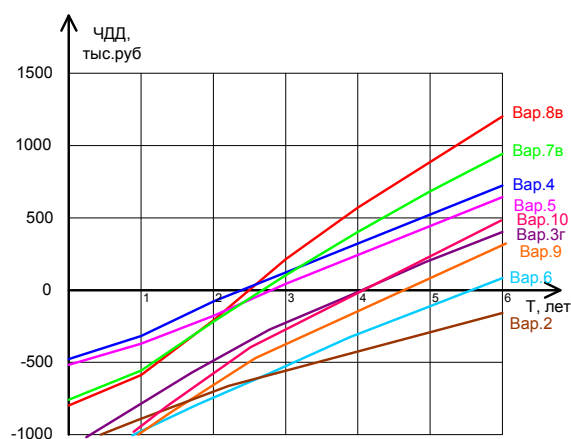


Рис.5 ЧДД по вариантам технологий

По каждому из вариантов приводится только один подвариант с наилучшим ЧДД.

Лучшие характеристики варианта 8в (ЭлПРАпт+PLC модем) объясняются реализацией максимальной экономии электроэнергии при высокой надежности ЭлПРАпт.

Очевидно, что варианты 4 (с автотрансформатором) и 5 (фазорегулятор) из-за меньшей экономии электроэнергии существенно проигрывают вариантам 7в (ЭлПРА+PLC модем) и 8в.

Что касается варианта 7в, то его худшие в сравнении с вариантом 8в показатели могут быть объяснены относительно большей ценой ЭлПРА и меньшей его надежностью. Системы наружного освещения со светодиодными светильниками (варианты 9 и 10) имеют большие начальные затраты (высокая цена светильников). Очевидно, что при существующих показателях решения с СБС в области НО смогут найти наибольшее применение в архитектурно-художественной подсветке, где они имеют преимущества в других светотехнических характеристиках.

В целом, как уже было отмечено, при очевидном лидерстве технологии по варианту 8в с ЭлПРАпт приемлемые результаты дают и три её ближайших преследователя (варианты 7в, 4 и 5). Неудовлетворительные показатели имеют варианты 3г (двухрежимный ЭМПРА+ таймер), 6 (конвертер), 2 (двойное число светильников), 9 и 10 (СБС), причем оценку последних двух вариантов, ввиду быстрого их прогресса, потребует корректировать при каждом технологическом нововведении в области СБС.

Необходимо отметить, что потенциальная сфера применения такого рода энергосберегающих технологий гораздо шире НО, они распространятся везде, где в настоящее время используются ЛВД.

Расчеты вариантов проводились для нового строительства или капитальной реконструкции линий НО. Внедрение технологий энергосбережения на действующих линиях НО без их реконструкции линий потребует уточнений в расчетах.

Авторский проект «Энергоэффективная и ресурсосберегающая система городского освещения «АВРОРА+», базирующийся на применении технологий 7в, 8в и 9, на II открытом межрегиональном конкурсе по энергосбережению, проведенном в мае 2010г в г. Новосибирске Ассоциацией Сибирских и Дальневосточных городов и Сибирским отделением Российской Академии Наук завоевал диплом I степени в номинации «Энергосберегающие осветительные устройства».

Авторы с большим удивлением констатируют, что 125-летняя «война» переменного и постоянного токов, символически законченная в 2007г перерезанием в Нью-Йорке последнего питающего кабеля постоянного напряжения главным инженером компании Consolidated Edison [19], вполне может разгореться с новой силой.

Есть веские основания считать, что массовое внедрение электроники в светильники НО при известной обособленности сетей НО в конце концов

приведёт к обратному переходу от четырёхпроводных линий НО трёхфазного напряжения М.О. Доливо - Добровольского [20] к двухпроводным линиям НО постоянного тока Томаса А.Эдисона [21].

Заключение

1. В области наружного освещения происходит поиск новых решений в управлении, связанных с большим потенциалом возможной экономии энергопотребления.
2. Проведена сравнительная технико-экономическая оценка различных видов технологий энергоресурсосбережения на конкретном примере фрагмента участка автодороги.
3. Показана перспективность систем освещения постоянного тока с электронными ПРА, обеспечивающими быструю окупаемость и экономию электроэнергии до 40...45%.

Благодарности.

Выражаем признательность коллегам из ГУП "Ленсвет", ООО "Светосервис" и ОАО "НИИ ТМ" за их поддержку и участие в работе.

Литература:

1. Martino, Joseph. Technological Forecasting for Decision Making (2nd edition ed.). North-Holland. ISBN 0-444-00722-9, 1983
2. OSRAM. Energy saving in lighting. O-RUS/N. Dianov. May 2009.
3. Справочная книга по светотехнике. Под ред. проф. Ю.Б. Айзенберга, 3-е изд. М.: 2008г, 952с: ил.
4. Энергосбережение в освещении. Под ред. проф. Ю.Б. Айзенберга, М.: «Знак», 1999г, 264с., ил.
5. CIE, «Recommendations for the lighting of roads for motor and pedestrian traffic». CIE Publication 115-1995.
6. СНиП 23-05-95. Строительные нормы и правила Российской Федерации. Естественное и искусственное освещение.
7. Прикупец Л.Б., Меркулова А.П., Георгобиани С.А., Клыков М.Е., Лобанов М.В., Исследование изменения световых и электрических параметров НЛВД в процессе эксплуатации в уличных ОУ. Доклад на Российской национальной светотехнической интернет-конференции, апрель 2009г. <http://nsk2009.svetotech.com/?p=1225>
8. А.Евстифеев, Особенности построения балластов для ламп высокого давления (HID lamp ballasts). Силовая электроника, №3'2008.
9. Stevens RG, Light-at-night, circadian disruption and breast cancer assessment of existing evidence. Department of Community Medicine, University of Connecticut Health Center, USA, 2009. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/19380369>
10. International Dark-Sky Association, Visibility, Environmental, and Astronomical Issues Associated with Blue-Rich White Outdoor Lighting, May 4, 2010.

http://docs.darksky.org/Reports/IDA_Blue-Rich_Light_White_Paper051710.pdf

11. Voltage Stabilizer & Step-Down Light Dimmer for Streetlighting.

<http://www.apein-lumtec.com/reastat.pdf>

12. Tom Ribarich, Shedding Light on HID Ballast Control, Power Electronics Tecology, Oct 1, 2006.

13. Патент РФ на полезную модель "Ресурсо - и энергосберегающая система освещения постоянного тока" № 80087.

14. F. Javier Díaz, Francisco J. Azcondo, Rosario Casanueva, Christian Brañas, Regan Zane, Digital Control of a Low-Frequency Square-Wave Electronic Ballast With Resonant Ignition, IEEE Transactions on Industrial Electronics, vol. 55, NO. 9, September 2008.

15. В.Поляков, Д. Рожков, Интеллектуальный электронный балласт комбинированного светотехнического прибора. Силовая электроника, № 2' 2010.

<http://www.symmetron.ru/articles/72.pdf>

16. Прогноз социально-экономического развития Российской Федерации на 2009г и плановый период 2010 и 2011 годов. Министерство экономического развития Российской Федерации. Москва, август 2008г.

17. Постановление Правительства РФ от 13 апреля 2010г. N238 "Об определении ценовых параметров торговли мощностью на оптовом рынке электрической энергии /мощности/ переходного периода".

18.Зотин О.Т., Морозова Н.О., Анализ эффективности управления энергосбережением в наружном освещении. Современная светотехника, №2'2010.

19. A/C but no D/C: last Con Edison direct current customer is history.

<http://www.coned.com/newsroom/news/pr20071115.asp>

20. М.О.Доливо-Добровольский, Современное развитие техники трехфазного тока, СПб, 1900; Избранные труды (о трехфазном токе).

21. Thomas A. Edison. System of electric lightning. Patent No. 239,152, March 22, 1881.

Авторы статьи:

Зотин Олег Тимофеевич, начальник информационно-аналитического отдела ОАО «НИИ Точной механики», окончил Ленинградский Механический институт в 1974г., занимается разработкой наукоёмких систем управления.



Морозова Наталья Олеговна, специалист информационно-аналитического отдела ОАО «НИИ Точной механики», окончила Санкт-Петербургский Государственный Политехнический Университет в 2007г.



ОАО "НИИ Точной механики"

Россия, Санкт-Петербург, пр. Непокоренных, 47, лит.А.

Тел.: +7-812-535-27-73 Факс. +7-812-296-55-18

Эл.почта: zotin@nitm.spb.ru, o_zotin@mail.ru

Аннотация статьи.

Проведена классификация технологий энергоресурсосбережения при управлении наружным освещением.

Даны краткие описания вариантов энергосберегающих технологий с применением различных типов светильников. Определены критерии и разработана методика оценки эффективности их внедрения.

Приведены результаты расчетов по разработанной методике в привязке к типовому участку осветительной сети автодороги.

Ключевые слова. Наружное освещение, энергосбережение, управление, чистый дисконтированный доход.

Keywords. Outdoor lighting, energy-saving, control, net present value.