

## ЭФФЕКТИВНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЕМ В СЕТЯХ НАРУЖНОГО ОСВЕЩЕНИЯ

А.А. Сапронов, А.Ю. Никуличев, А.Г. Лещенко,

О.В. Волкова (Донской государственный технический университет)

Проведен обзор основных современных технологий управления электропотреблением в сетях наружного освещения. На основе критерия энергоэффективности сделан их сравнительный анализ. Предложена технология децентрализованного адресного управления электропотреблением осветительных установок по электрической сети.

Ключевые слова: наружное освещение, децентрализованное управление, электропотребление, редукция мощности, автоматизация.

Сети наружного освещения (СНО) являются специализированным вариантом сетей электроснабжения потребителей напряжением 0,38 кВ. Исполнение СНО разнообразно: воздушные линии с голым или самонесущим изолированным проводом (СИП), подземные и воздушные кабельные линии, комбинации из указанных вариантов. Инженерная инфраструктура (шкафы управления освещением (ШУО) или пункт питания (ПП), осветительные установки (ОУ), опоры линий освещения, кабели и кабельная канализация, провода, изоляторы, несущая арматура и др.) может находиться на балансе как одной, так и разных организаций. Например, в первом случае вся инфраструктура принадлежит муниципалитету; во втором ОУ находятся на балансе муниципалитета, а остальное – собственность какой-либо электросетевой компании.

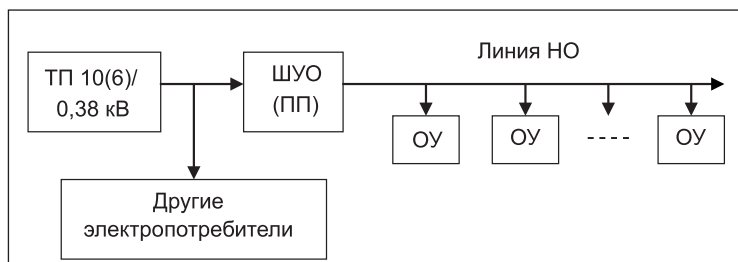


Рис. 1. Типовая схема электроснабжения СНО

Электроснабжение линии наружного освещения (НО), как правило, осуществляется от ШУО, который подключен на стороне низкого напряжения 0,38 кВ к секции шин трансформаторной подстанции (ТП) либо к линии электроснабжения 0,38 кВ, от которой также могут быть запитаны потребители электроэнергии коммунально-бытового сектора.

В городах практически повсеместно используется трехфазная схема исполнения линий НО. В сельской местности довольно часто встречается однофазная схема исполнения линий НО. Встречаются схемы, где нулевой проводник сети электроснабжения коммунально-бы-

товых потребителей и СНО используется совместно. Учет электроэнергии, как правило, организован в ШУО. Структура типовой схемы электроснабжения показана на рис. 1.

Значение сечений проводов и кабелей обычно принимается при проектировании СНО на основании расчета суммарной установленной мощности ОУ и максимально допустимой потере напряжения в линии НО (при соблюдении требований механической прочности проводов и кабелей при их подвесе на опорах линий НО).

Потери электроэнергии в СНО имеют три основные составляющие: технические, инструментальные, коммерческие. Анализ структуры потерь электроэнергии в СНО подробно приведен в работе [1]. В то же время следует отметить, что технические потери электроэнергии, являясь нагрузочными потерями, зависят от величины электропотребления СНО.

В начальный период развития автоматизации вопросы оперативного управления электропотреблением в СНО не ставились. Технические решения в области оперативно-диспетчерского управления по сути являлись элементами телемеханики с функцией дистанционного включения/отключения линий НО. С течением времени требования к функционированию СНО существенно изменились: появилась необходимость контроля состояния оборудования, технологических параметров работы СНО, в том числе электропотребления. Наличие различных информационных сервисов также стало неотъемлемой частью функционирования СНО. Это обусловлено, в том числе развитием инженерной инфраструктуры населенных пунктов, автомобильных и железных дорог, изменением характера экономических отношений, требующих более рачительного отношения к электроэнергии, потребляемой в СНО, и к средствам, выделяемым на компенсацию эксплуатационных затрат. Принятие федерального закона № 261-ФЗ «Об энергосбережении и повышении энер-

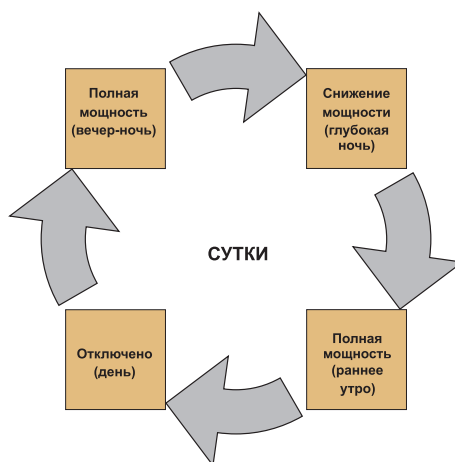


Рис. 2. Суточная циклограмма работы энергоэффективной СНО

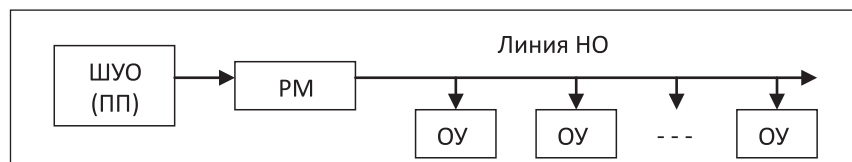


Рис. 3. Технология централизованного управления электропотреблением

гетической эффективности...» также способствовало существенной корректировке подхода к оперативно-диспетчерскому управлению в СНО, появлению новой критериальной оценки работы АСУ НО на основе их вклада в общие показатели энергоэффективности.

Современные АСУ НО имеют во многом сходные функциональные задачи управления электропотреблением, базирующиеся на компромиссе между желанием экономии электроэнергии и требованиями нормативных документов, регламентирующих условия проектирования и эксплуатации СНО, в том числе исходя из условий обеспечения комфортной и безопасной зрительной обстановки. Идеализированная суточная циклограмма работы энергоэффективной СНО показана на рис. 2.

На циклограмме обозначены четыре основных суточных режима, связанные с изменением электропотребления в СНО. Длительность режимов зависит от географической широты местности (начало включения СНО в режим полной мощности в вечернее время, отключение режима полной мощности утром) и инфраструктурных особенностей (дорога, жилой массив, парковая зона и т.д.) места эксплуатации. Последние влияют на время начала/окончания введения режима снижения (редукции) мощности. Следует отметить, что значение предельного уровня снижения мощности освещения в целях экономии электроэнергии «СП 52.13330.2011. Свод правил. Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95» ограничивает на уровне 50% от максимального значения. Для каждой локальной территории длительность такого режима может быть различна.

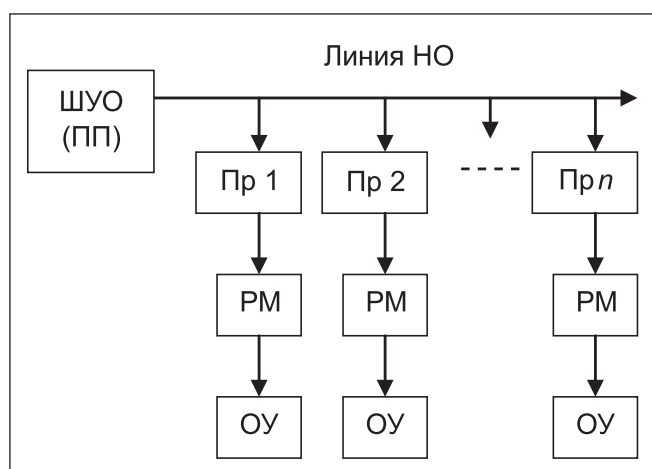


Рис. 4. Технология децентрализованного управления электропотреблением

Системы управления, использующие в качестве управляющих элементов фотореле, принципиально не могут реализовать последовательность обозначенных на рис. 2 режимов. Для реализации оптимального графика управления электропотреблением традиционные каскадные

СНО с ручным или автоматическим управлением из диспетчерской также малопригодны и многозатратны. Очевидно, что наиболее энергоэффективным будет решение, позволяющее гибко настраивать и реализовывать обозначенные в циклограмме режимы на каждой линии НО. Поэтому, учитывая масштаб СНО, можно утверждать, что функции диспетчера в современных АСУ НО целесообразно возложить на микроконтроллеры ШУО, а общий контроль со стороны человека в системе свести к анализу результатов мониторинга технологических параметров СНО. Современные инфокоммуникационные технологии позволяют строить многопользовательские системы без «привязки» человека к конкретному месту под названием «диспетчерская». Однако практический опыт работы в данной области позволяет говорить о большой инерции, связанной с модернизацией СНО в РФ. Например, в Москве [4] и многих крупных городах России, реальные технологические решения базируются на каскадных схемах ([www.niit.spb.ru](http://www.niit.spb.ru)) с централизованным управлением и неизбежным наличием диспетчерских. Преобладанию данного подхода способствует несколько факторов:

- сети наружного освещения, являясь муниципальной собственностью, эксплуатируются организациями, не заинтересованным в модернизации и повышении энергоэффективности их функционирования (за электроэнергию все равно платит муниципалитет, а чем больше стоит обслуживание, тем больше прибыль обслуживающей компании). В этом случае многие организации ведут себя как «временщики», имея договора обслуживания СНО, заключенные на срок, не превышающий одного календарного года;

- при развитии и модернизации СНО в технических проектах часто используются типовые (привычные), далеко несовременные фрагментарные решения, дополняющие уже имеющиеся в эксплуатации. Внести изменения в проект дорого и хлопотно, поэтому ни о каком системном подходе к процессу: «заказ – проектирование – внедрение» не может быть и речи;

- квалификация, заинтересованность и ответственность должностных лиц, в компетенцию которых входят вопросы функционирования СНО, оставляют желать лучшего.

В настоящее время существует два управленческих подхода к реализации режима энергосбережения за счет редукции мощности в СНО: централизованный и децентрализованный. Централизованное управление электропотреблением предполагает возможность

изменения потребляемой мощности сразу всей линии НО. Децентрализованное управление электропотреблением предполагает возможность изменения мощности в каждой ОУ, находящейся на линии НО. Причем это изменение может быть как общим для всех ОУ, так и выборочным для некоторых ОУ, находящихся в линии НО. При этом используются разные технологии управления электропотреблением, достоинства и недостатки которых отражены в работах [1, 2–4, 5]. На рис. 3 схематично представлена технология централизованного управления электропотреблением.

В качестве редуктора мощности (РМ) при централизованном управлении могут использоваться [3]:

- управляемый силовой коммутатор, отключающий одну из фаз линий НО;
- автотрансформатор с большим числом отводов для регулировки общего уровня напряжения питания в линии с сохранением его формы;
- силовые тиристорные преобразователи для вырезания определенной части формы напряжения линии с сохранением его пикового значения.

Технология централизованного управления электропотребления наиболее проста в реализации и в конечном итоге предполагает снижение уровня напряжения на линии НО за счет использования различных способов и технических средств. В реальных условиях это часто приводит к погасанию ОУ на концевых участках линий НО, а, например, для светодиодных светильников с драйвером-стабилизатором мощности эта технология вообще бессмысленна.

При децентрализованном управлении редукторами мощности могут служить [3]:

- переключаемые двухуровневые электромагнитные и электронные балласты (для газоразрядных ламп);
- управляемые пускорегулируемые устройства (УПРУ) на основе переключаемых конденсаторов (для газоразрядных ламп);
- управляемые электронные пускорегулирующие аппараты (ЭПРА) (для газоразрядных ламп);

– управляемые электронные драйверы (для индукционных ламп и светодиодных светильников).

Здесь предполагается наличие каналов управления (дистанционных или местных) редуктором мощности, в качестве которых используются:

- таймеры, установленные с редуктором мощности (например, на основе двухсекционного дросселя) в одном светильнике и соединенные непосредственно с ним, или выполненные в виде функционального модуля редуктора мощности (например, на базе ЭПРА);
- радиоканалы с фиксированными частотами и беспроводные технологии (в том числе и технология X.Bee);
- сигнальные провода и кабели (в том числе оптические);
- электрическая сеть с различными способами модуляции полезного сигнала.

Основные достоинства и недостатки этих вариантов кратко изложены в таблице.

Результаты исследований, а также опыт эксплуатации различных технологий управления электропотреблением [4] позволяют говорить о преимуществе технологии децентрализованного адресного управления электропотреблением ОУ по электрической сети с модуляцией основной гармоники питающего напряжения с применением управляемых высокочастотных ЭПРА и электронных драйверов (рис. 4). Адресные команды распознаются приемниками Пр 1 – Пр *n* и локально транслируются для исполнения на редуктор мощности (РМ).

В этом случае можно найти компромисс между требованиями, касающимися безопасности (например, не снижать мощность освещения в местах пешеходных переходов) и энергосбережения, а также управлять ОУ с разным типом источников света (газоразрядные и индукционные лампы, светодиодные светильники) на линиях НО любой длины, состава и конфигурации.

Таблица. Основные достоинства и недостатки каналов управления редуктором мощности

Тип канала управления	Достоинства	Недостатки
От автономного таймера	Простота. Приемлемая цена	Необходимость периодически программировать таймер для каждого светильника; возможность сбоя и рассинхронизации работы СНО при возникновении провалов питающего напряжения.
Радиоканалы и беспроводные технологии	Возможность организации адресного управления	Слабая помехоустойчивость, необходимость ретрансляции сигнала, регистрации передающих средств. Невысокая надежность и высокая цена организации и эксплуатации
Сигнальные провода и кабели (в том числе оптические)	Возможность организации адресного управления	Высокая стоимость реализации. В случае обрыва сигнального провода (особенно оптического) может потребоваться специальное оборудование и квалифицированный персонал для восстановления работоспособности СНО.
Электрическая сеть с наложенным высокочастотным сигналом	Возможность организации адресного управления. Не требуется прокладка дополнительных проводов. Приемлемая цена	Высокое затухание сигнала на кабельных линиях при разветвленной структуре СНО (существенные ограничения на длину и топологию линий НО). Требуется каскадная ретрансляция, существенно снижающая надежность и повышающая стоимость итогового технического решения. Во многих случаях - слабая помехоустойчивость.
Электрическая сеть с модуляцией основной гармоники питающего напряжения	Возможность организации адресного управления. Не требуется прокладка дополнительных проводов. Приемлемая цена. Отсутствие существенных ограничений на длину и топологию линий НО.	Не со всеми типами нагрузок устойчиво работает (нежелательно использование чисто индуктивной нагрузки). Требуется замена электромагнитного контактора на силовой электронный коммутатор с управлением

При производстве программно-технических средств АСУНО «Лайт-09» (<http://лайт09.рф>) в рамках энергоэффективной технологии адресного управления электропотреблением по электрической сети авторами разработан, запатентован и использован способ передачи команд управления, позволяющий получить максимальный технический эффект (дальность адресной передачи без ретрансляции сигнала, адаптированность к любому типу линии НО) при минимуме затрат на его реализацию. В настоящее время АСУНО «Лайт-09» успешно эксплуатируется в г. Азов, Новошахтинск, Иркутск, а также в сельских поселениях Ставропольского края и Ростовской области. Применение данной технологии позволило получить экономию электроэнергии на объектах внедрения 25...40 % от общего энергопотребления. При этом реальный срок окупаемости программно-технических средств, реализующих данную технологию

управления электропотреблением, с учетом затрат на внедрение и эксплуатацию, не превысил 4 лет.

#### Список литературы

1. Сапронов А.А., Никуличев А.Ю., Лещенко А.Г. и др. Способы и средства повышения энергоэффективности функционирования муниципальных сетей наружного освещения. Монография. Шахты: ФГБОУ ВПО «ЮРГУЭС». 2013.
2. Подлесный С. Автоматизированное управление уличным освещением // Электронные компоненты. № 6. 2007.
3. Сапронов А.А., Никуличев А.Ю. Способы и средства повышения энергоэффективности наружного освещения // Энергосовет. № 2. 2011. <http://www.energosoвет.ru>.
4. Сириков А.В., Киричок А.И. Способы энергосбережения в наружном освещении Москвы // Энергосбережение. Специальный выпуск. 2011.
5. Сапронов А.А., Никуличев А.Ю., Лещенко А.Г. Модернизация систем наружного освещения – реальный путь к энергоэффективности // Автоматизация в промышленности. № 9. 2011.

*Сапронов Андрей Анатольевич – д-р техн. наук, проф., главный научный сотрудник,  
Никуличев Александр Юрьевич – канд. техн. наук, научный сотрудник,  
Лещенко Антон Геннадьевич и Волкова Ольга Владимировна – младшие научные сотрудники  
Института сферы обслуживания и предпринимательства (филиал)  
Донского государственного университета в г. Шахты.  
Контактный телефон (918) 551-20-94.*

#### EPLAN Platform 2.3: встроенная возможность предварительного планирования

Предварительное планирование и базовое проектирование являются ранними этапами, на которых прорабатываются концепции технических решений оборудования/производственных линий и производится оценка изначального объема проектных данных. Целью является определение наиболее подходящего технического решения, а также основополагающих принципов для дальнейшей детальной проработки (рабочее проектирование). В настоящее время задачи предварительного планирования зачастую решаются в отдельных системах, например, программах для работы с графикой, текстовых редакторах для создания спецификаций, таблиц или БД. При этом интерфейс для инструмента конфигурирования либо не предоставляется, либо реализован только на базовом уровне. Отсутствие согласованности данных и зачастую недостаточная поддержка инженерных функций в подобных системах значительно усложняла работу и отрицательно сказывалась на качестве на этапе конфигурирования.

Новая версия EPLAN Platform 2.3 предоставляет возможности для решения задач по предварительному планированию, в том числе позволяет использовать средства графического обзора, заполнители для функций, исходные проектные данные по входам/выходам приводов, датчиков, ПЛК или спецификации для расчетов.

Последующие этапы производства шкафов и создания рабочего проекта системы базируются на этих данных, при этом отсутствует необходимость ввода новых данных или переноса их из других систем. Подобная интеграция позволяет повысить степень согласованности данных и качество итогового проекта. В то же са-

мое время расходы на разработку проекта могут быть снижены.

Основным диалоговым окном платформы EPLAN является новый навигатор предварительного планирования, где отображаются готовые сегменты для предварительного планирования и администрирования в рамках проекта. Использование макросов предварительного планирования, возможность копирования и перемещения существующих сегментов методом перетаскивания позволяют быстро и просто создавать и изменять структуру оборудования/производственной линии.

Помимо этого электротехническая САПР позволяет осуществлять предварительное планирование непосредственно в графическом редакторе. Данные, определяемые на этапе предварительного планирования, можно отобразить в виде отчета и использовать, например, для составления спецификаций или расчета стоимости и трудозатрат.

Данный процесс является комплексным. Основываясь на предварительном планировании в навигаторе, следующий этап конфигурации включает выделение и создание детального плана, например схемы, с использованием метода перетаскивания. Являясь альтернативой для ручного ввода данных, опция предварительного планирования, включает полноценную функцию импорта, позволяющую импортировать данные в EPLAN из таблиц в формате Excel. Это позволяет учитывать информацию, получаемую от других отделов планирования. Функция импорта позволяет также автоматически генерировать структуры предварительного планирования.

<http://www.eplan-russia.ru>