

## АННОТАЦИЯ

*В статье рассмотрены возможности энергосбережения с помощью изменения режима работы наружного освещения. Приведены особенности таких режимов и их влияние на качество освещения.*

## ANNOTATION

*The paper considers the possibilities for energy savings by changing the mode of operation of outdoor lighting, and presents the features of such modes and their impact on the quality of lighting.*

## Режимы работы систем наружного освещения

В. Б. Козловская, к. т. н., доцент, В. Н. Калечиц, м. т. н.,  
Белорусский национальный технический университет

Эффективность работы сети наружного освещения определяется главным образом используемыми источниками света, а также внедрением современных систем управления осветительными установками. Основные условия выбора и рационального использования источников света в системе наружного освещения рассмотрены в [1].

Основной задачей систем наружного освещения является обеспечение бесперебойной работы осветительной сети улиц, дорог, транспортных тоннелей и т. п. для обеспечения безопасности людей. При этом ещё на этапе проектирования осветительной сети и системы управления должна ставиться задача по снижению эксплуатационных расходов на техническое обслуживание светового оборудования.

### Требования к управлению наружным освещением

Использование наружного освещения улиц, дорог, городских транспортных пересечений и т. п. регулируется [2]. В соответствии с этим документом включение наружного освещения улиц и других освещаемых территорий следует производить при снижении уровня естественной освещённости до 20 лк, а отключение — при повышении уровня до 10 лк.

По надёжности электроснабжения диспетчерские пункты управления сетями наружного освещения городов относят к первой категории; осветительные установки улиц, дорог, площадей категории А в Минске, областных центрах, а также освещение городских транспортных и пешеходных тоннелей — ко второй; остальные осветительные установки — к третьей.

Управление сетями наружного освещения должно быть централизованным — телемеханическим или дистанционным. Возможность местного управления

должна предусматриваться в наружном освещении гостиниц, больниц, школ, яслей, стадионов и т. п. Энергоэффективность работы таких систем низка. Но местное управление освещением может являться дополнением централизованной системы управления. Примером может служить использование встраиваемых фотоэлектрических устройств, с помощью которых осуществляется включение (отключение) светильников при заданных уровнях естественной освещённости. В этом случае важно предусматривать защиту от засветки датчика от влияния атмосферных явлений (налипание снега), которые могут приводить к некорректным режимам работы светильников. Также для периферийных районов города, посёлков и сельских населённых пунктов (при управлении наружным освещением в пределах одной трансформаторной подстанции 10/0,4 кВ) допускается предусматривать управление линиями наружного освещения с помощью устройств, в которых заложена годовая программа включения (отключения).

Выбор системы управления наружным освещением населённого пункта зависит от количества жителей в нём: при более 50 тыс. применяется централизованное телемеханическое управление; от 20 до 50 тыс. — централизованное телемеханическое или дистанционное; при менее 20 тыс. — централизованное дистанционное управление.

Сети наружного освещения городов, как правило, используют каскадную систему управления участками распределительных линий наружного освещения, что реализуется с помощью подключения катушки коммутационного аппарата второго участка в линию первого, катушки третьего участка в линию второго и т. д. В воздушно-кабельных сетях допускается включение в один каскад до 10 пунктов питания сети уличного освещения, в кабельных — до 15.

Для дистанционного централизованного управления применяется многоканальная система передачи команд и сигналов с прокладкой линий управления,

соединяющих силовые блоки (ящики управления) с постами, пультами, шкафами управления. В качестве линий управления могут использоваться специально прокладываемые контрольные кабели, а также специально выделенные жилы телефонных кабелей внутриобъектной связи [3].

Такие системы могут управляться в ручном режиме, а также автоматически. При автоматическом управлении световыми приборами силовые блоки связываются с помощью линий управления с датчиками, программными реле времени и другими устройствами, позволяющими осуществлять фотоавтоматическое и программное управление.

Централизованное телемеханическое управление наружным освещением городов путём включения (отключения) коммутационных аппаратов, установленных в пунктах питания, осуществляется из диспетчерских пунктов с помощью телемеханических устройств. В отличие от дистанционного, при телемеханическом управлении все команды в виде закодированных электрических сигналов от диспетчера или управляющей ЭВМ передаются по одному каналу связи. На объектах управления эти сигналы с помощью специальной аппаратуры преобразуются в команды управления, контроля, измерения, сигнализации.

### Современные системы управления наружным освещением

Современные системы управления наружным освещением строятся на основе трёх уровней: светильники, пункт питания и диспетчерский пункт. Применяемое оборудование и схемные решения в системе управления наружным освещением разнообразны и зависят от задействованных источников света, способа передачи команд, данных между тремя уровнями.

Основными функциями современной автоматизированной системы централизованного управления освещением городов являются:

- ♦ централизованное включение и отключение наружного освещения в зависимости от времени суток;
- ♦ измерение и контроль значений токов, напряжений, ведение графика нагрузок, получение информации по расходу электроэнергии;
- ♦ контроль целостности осветительных сетей и т. д.

На уровне диспетчерского пункта осуществляются: отображение состояния объектов наружного освещения на карте города; смена режима работы осветительных сетей; сбор, обработка информации. На уровне исполнительных пунктов (пунктов питания) произ-

водятся: непосредственный контроль каждой из фаз осветительных линий (ток, напряжение, наличие КЗ и т. д.); учёт потребляемой электроэнергии; включение (отключение), управление по фазам и т. д. Передача команд, информации между этими двумя уровнями может осуществляться с помощью слаботочных линий, по радиоканалу, GSM-каналу, по питающему светильники силовому проводнику.

### Мероприятия по повышению энергоэффективности путём создания оптимальных режимов работы установок наружного освещения

Способы и средства реализации систем управления напрямую влияют на энергоэффективность освещения. Если рассматривать все стадии (производство, эксплуатация, утилизация), связанные со светотехнической продукцией, то наиболее энергозатратной является эксплуатация. Создание оптимальных режимов работы осветительных сетей позволяет минимизировать расходы на электроэнергию, текущий ремонт и обслуживание осветительных установок.

В наружном освещении населённых пунктов для экономии электроэнергии предусматривают вечерний и ночной режимы работы. Переход на ночной режим путём отключения части светильников или диммированием осуществляется при значительном снижении активности населения, снижении интенсивности дорожного движения и других факторах.

Управление по фазам позволяет отключать часть светильников. Подобный способ экономии электроэнергии имеет свои ограничения в применении, обусловленные возможностью возникновения значительной неравномерности освещённости. Не допускается отключение подряд двух светильников, а также отключение светильников на отдельных участках города, перечисленных в [2].

В качестве способа экономии электроэнергии, позволяющего избежать значительной неравномерности освещения, используется диммирование. В наружном освещении оно реализуется с помощью регуляторов напряжения, устанавливаемых в пунктах питания, или с помощью электронных пускорегулирующих аппаратов (ЭПРА) светильников. Снижение светового потока лампы ниже номинального значения осуществляется путём понижения напряжения. Согласно [4] разрешается снижать уровень освещения в ночное время на 50 %, а в вечернее и утреннее — на 30 и 50 % при уменьшении интенсивности дорожного движения в 3 и 5 раз соответственно.

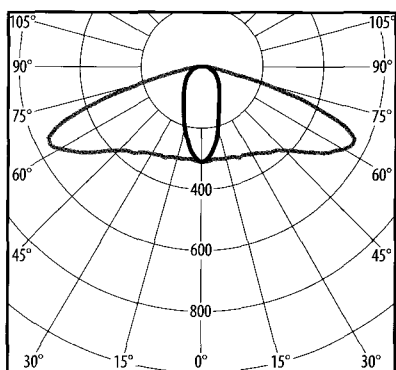


Рис. 1. КСС для светильника типа ЖКУ21-150-002

выполнен расчёт уровня освещённости проезжей части при различных режимах работы светильников уличного освещения типа ЖКУ21-150-002 на основании следующих исходных данных:

- ♦ опоры односторонне расположены на расстоянии 25 м друг от друга и 1 м от проезжей части;
- ♦ вылет светильника от края проезжей части — 0,5 м;
- ♦ ширина проезжей части с двумя полосами движения — 8 м;
- ♦ высота установки светильника — 8 м;
- ♦ на опоре один светильник с углом наклона к горизонту — 15°;
- ♦ коэффициент запаса — 1,5; КПД светильника — 80%;
- ♦ кривая силы света светильников — типа Ш (широкая), показана на рис. 1.

Результаты расчёта уровней освещённости в разных режимах работы представлены на рис. 2 и 3.

На основании сравнения режимов работы (рис. 2, 3) можно сделать вывод, что при переходе на ночной режим при управлении по фазам наблюдается наибольшая неравномерность освещённости рабочей поверхности. Такой способ управления сказывается также и на условиях работы трансформатора, от которого питается осветительная линия. В этом случае трансформатор при отключении части светильников может иметь несимметричную нагрузку.

Второй способ снижения расходов на электроэнергию — путём диммирования — позволяет избежать значительного ухудшения качества освещения (рис. 2, 3). Однако такой режим работы источников света не является для них номинальным. В этом случае работа ламп будет менее экономичной (уменьшается световая отдача), кроме того, снижается их срок службы.

Ещё одним препятствием на пути к внедрению регулирования светового потока ламп наружного освещения является тот факт, что оно может быть реализовано только с использованием ЭПРА. Однако на сегодняшний день в системе наружного освещения с газоразрядными лампами высокого давления ЭПРА не нашли широкого применения, поскольку не дают тех существенных преимуществ, как при работе с газоразрядными лампами низкого давления.

Ведущие производители светотехнической продукции (PHILIPS, OSRAM и т. д.) предлагают возможные варианты использования ЭПРА (в том числе регулируемых) в сочетании с газоразрядными лампами высокого давления. При этом в числе достоинств такого решения для наружного освещения отмечаются возможность диммирования, управления каждым светильником, определения вышедших из строя ламп, защиты от

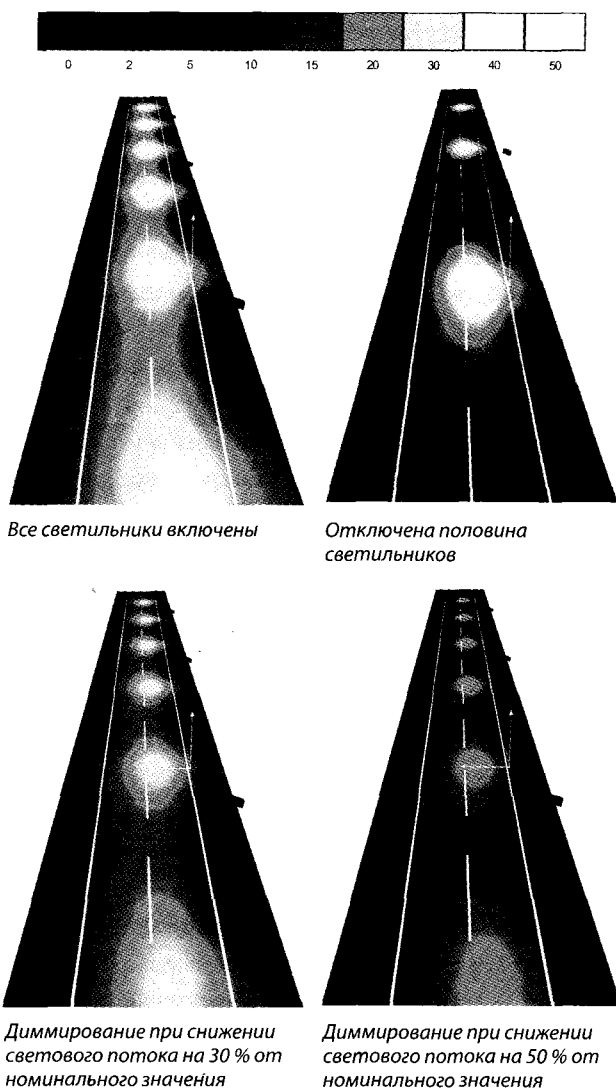


Рис. 2. Уровни освещённости дорожного покрытия (лк) при следующих режимах работы светильников типа ЖКУ21-150-002:

### Сравнение качества освещения при различных режимах работы

Сравним различные режимы работы светильников уличного освещения. С помощью программы DIALux

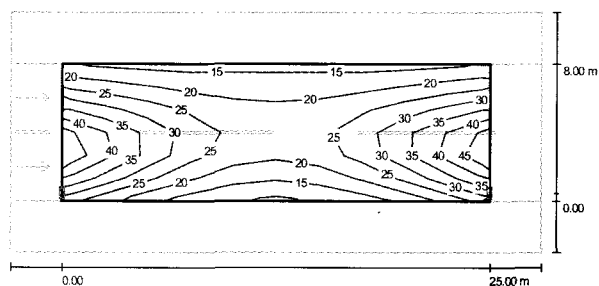
перенапряжений (стабилизация уровня напряжения на лампе).

Особое место занимают светодиодные источники света с возможностями регулирования величины светового потока и изменения цветовых характеристик, что позволяет реализовать режимы работы с пониженным расходом электроэнергии без значительного ухудшения качества освещения. В режиме диммирования они не имеют недостатков, характерных для газоразрядных ламп высокого давления с ЭПРА.

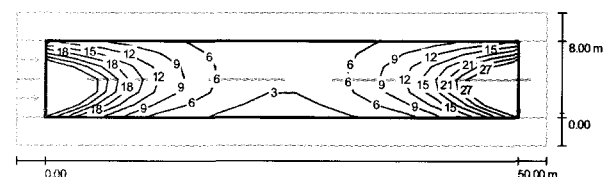
На применении светильников с ЭПРА (или светодиодных светильников) и реализации способа связи между различными уровнями базируются разработки в области создания интеллектуальных систем управления наружным освещением. Такие системы позволяют из центрального диспетчерского пункта управлять любым светильником, получать необходимую информацию о режиме работы источников света. Возможность управления индивидуально каждым светильником позволяет обеспечить максимальную экономию электроэнергии и наиболее рациональное использование источников света, увеличить интервалы между заменами вышедших из строя ламп и сократить затраты на обслуживание светильников. Главным же ограничителем использования подобных технологий являются значительные капиталовложения.

Более широко в наружном освещении используется групповое диммирование, осуществляемое с помощью регуляторов напряжения, установленных в пунктах питания. Возможная экономия электроэнергии в этом случае зависит от степени диммирования и используемых источников света. Регулятор напряжения позволяет устанавливать различные режимы работы: пусковой, номинальный, на пониженном напряжении и т. д. Особенностью применения группового регулирования являются ограничения, связанные с работой ламп на пониженном напряжении.

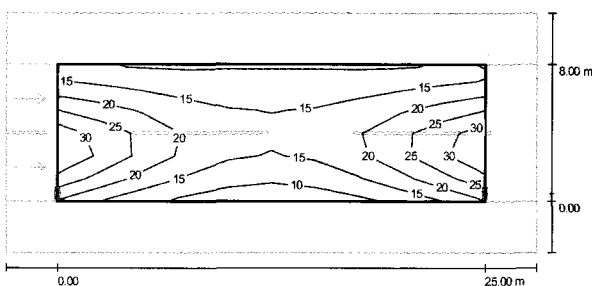
Среди белорусских разработок в области наружного освещения необходимо отметить автоматизированную систему управления «Горсвет», созданную предприятием «Белэлектромонтажналадка» совместно с «Мингорсветом». Система предназначена для централизованного и локального управления электрическими сетями уличного, иллюминационного и рекламного освещения. Система имеет многоуровневую иерархическую структуру управления. Обмен информацией между верхним и нижним уровнями осуществляется по выделенным телефонным линиям связи или радиоканалу. Верхний уровень системы — диспетчерский пункт управления, включающий в себя



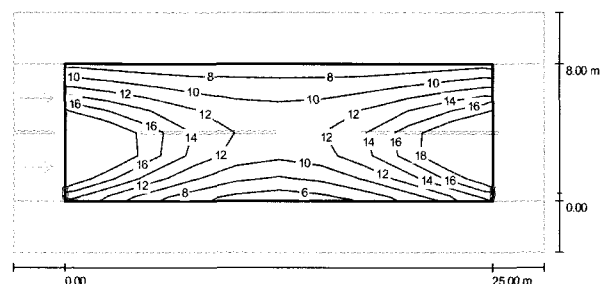
Все светильники включены



Отключена половина светильников



Диммирование при снижении светового потока на 30% от номинального значения



Диммирование при снижении светового потока на 50% от номинального значения

Рис. 3. Уровни освещённости дорожного покрытия в виде изолюк (лк) при следующих режимах работы светильников типа ЖКУ21-150-002

компьютер и пульт диспетчерского управления. Нижний — контролируемые пункты головных пунктов питания, включающие шкафы наружного освещения и шкафы управления с контроллерами [5]. Помимо традиционного управления путём отключения части светильников система позволяет осуществлять групповое диммирование с использованием регуляторов напряжения.

**Табл. 1.** Параметры светильника типа ЖКУ21-150-002 при различных режимах работы

Режим работы	Световой поток лампы, лм	Напряжение на светильнике, В	Активная мощность светильника, Вт
Без диммирования	15 000	220	170
Диммирование при снижении светового потока на 30 %	10 500	192	122

### Оценка возможной экономии электроэнергии в энергосберегающих режимах

На основании графика для ламп типа ДНаТ [3], показывающего зависимости относительных значений потребляемой активной мощности  $P(U)$  и величины светового потока  $\Phi(U)$  от напряжения на зажимах светильника, сформируем табл. 1, в которой приведём значения активной мощности для светильника ЖКУ21-150-002 (лампа и пускорегулирующий аппарат) при номинальном режиме и при снижении светового потока на 30 % от номинального значения. Номинальная активная мощность светильника ЖКУ21-150-002 с учётом потерь в ЭМПРА —  $P_{ном} = 170$  Вт. Для упрощения расчётов принимаем, что потери активной мощности в ЭМПРА и активная мощность лампы изменяются пропорционально зависимостям, представленным в [3].

На примере линии освещения сравним эффективность экономии электроэнергии в вариантах отключения 1/3 части светильников и диммирования на 30 % от номинального светового потока. Условимся, что:

- ♦ в линии задействовано 15 светильников типа ЖКУ21-150-002;
- ♦ значения активной мощности светильников принимаем на основании табл. 1;
- ♦ расход электроэнергии определяем приблизительно, без учёта потери напряжения в линии;
- ♦ в сравниваемых вариантах светильники одинаково работают в вечернем режиме с номинальными параметрами. Вечерний режим составляет 5 часов, ночной — 4.

В табл. 2 показаны величины расхода электроэнергии при трёх режимах работы: 1) все светильники вклю-

чены как в вечернем, так и ночном режиме; 2) переход на ночной режим путём отключения 1/3 части светильников; 3) переход на ночной режим диммированием на 30 % от номинального значения светового потока.

Таким образом, в рассмотренном примере величина сэкономленной электроэнергии приблизительно одинакова как при отключении 1/3 части светильников, так и при диммировании на 30 % от номинального значения светового потока в ночном режиме. Отсутствие значительной неравномерности освещённости рабочей поверхности даёт преимущество диммированию.

### Выводы

1. При использовании широко применяемого в наружном освещении способа снижения освещённости в ночное время — отключении части освещения (управления по фазам) — создаётся значительная неравномерность распределения освещённости, что ухудшает восприятие окружающего пространства. При этом метод легко реализуем и не требует дополнительных капиталовложений.

2. Энергоэффективность группового диммирования зависит от величины снижения напряжения в линии освещения и типа используемых светильников. ■

### Литература

1. Козловская В. Б., Калечиц В. Н. Энергоэффективные источники света в системе наружного освещения // Энергия и Менеджмент. — 2014. — № 2. — С. 8–13.
2. ТКП 45-4.04-287-2013 «Наружное освещение городов, посёлков и сельских населённых пунктов. Правила проектирования». — Мн.: Министерство архитектуры и строительства, 2013. — 19 с.
3. Справочная книга по светотехнике / Под ред. Ю. Б. Айзенберга. — 3-е изд. перераб. и доп. — М.: Знак, 2006. — 972 с.
4. ТКП 45-2.04-153-2009 «Естественное и искусственное освещение. Строительные нормы проектирования». — Мн.: Министерство архитектуры и строительства, 2010. — 100 с.
5. <http://bemn.web-energo.by/page.php?id=197>. — Дата доступа: 09.09.2014.

**Табл. 2.** Расход электроэнергии при различных режимах работы линии освещения

Режим работы	Суммарная активная мощность, кВт		Расход электроэнергии, кВт·ч		Суммарный расход электроэнергии, кВт·ч
	В вечернем режиме	В ночном режиме	В вечернем режиме	В ночном режиме	
Номинальный	2,55	2,55	12,750	10,200	22,950
Отключена 1/3 светильников (одна из фаз)	2,55	1,70	12,750	6,800	19,550
Диммирование (световой поток снижен на 30 %)	2,55	1,83	12,750	7,320	20,070