

РЕЦЕНЗИЯ

на диссертацию Мустафоева Азизжона Олимжоновича, представленная на соискание степени магистра технических наук по теме «Исследование проблем источников света и вопросы энергосбережения в системе освещения» Специальность 5А310201 «Электроснабжение (по отраслям)»

В программе правительства Республики Узбекистана по экономии материально-технических и энергетических ресурсов во всех отраслях народного хозяйства (в частности на заводах ЖБИ) большое внимание уделяется задачам по совершенствованию системы нормирования и по вопросам рационального и экономного использования электроэнергии. Намечено снижение удельного расхода электроэнергии в промышленности на 5-10%.

Поэтому в этих условиях особенно актуальным является анализ режимов электропотребления, а также изучение оптимальных режимов работы оборудования и основ анализа и нормирования расхода электроэнергии по производству железобетонных изделий и конструкцией.

Магистерская диссертация состоит из 3-х глав, заключения по работе и списка использованной литературы.

Для решения поставленной задачи получены энергетические характеристики основных технологических агрегатов, разработана методика расчета норм расхода электроэнергии на единицу продукции и произведен расчет удельных норм при многономенклатурном производстве.

Рассмотренные в работе вопросы позволяют решить вопросы рационального потребления электроэнергии и определение перспективных объемов и структуры электропотребления на заводах ЖБИ.

По данной работе есть следующие замечания:

1. Не произведен полный анализ полученных энергетических характеристик основных агрегатов ЖБИ.
2. Не приведены конкретные способы экономии электроэнергии, связанные с расчетом удельных норм.

В целом магистерская диссертационная работа Мустафоева Азизжона Олимжоновича отвечает требованиям предъявленным к магистерским диссертациям, и её автор заслуживает присуждения ему степени магистра технических наук.

**Доцент кафедры «Электроснабжение и
эксплуатации электрооборудования
гидромелиоративных систем» ТИИМ**

к.т.н.доц.Бердышев А.

РЕЦЕНЗИЯ

На магистерской диссертации Мустафоева Азизжона Олимжоновича

на тему: «Исследование проблем источников света и вопросы энергосбережения в системе освещения»

Магистерская диссертация состоит из трех глав, заключения и список использованной литературы.

Цель магистерской диссертации является анализ технологического процесса и режимов электропотребления, а также изучение наивыгоднейших режимов электропотребления, и на основе этого разработка метода нормирования расхода электроэнергии по производству железобетонных изделий:

Исследования проводились на базе действующего завода ЖБИ.

Практическая ценность работы состоит в том, что технологический процесс и состав основного оборудования таких заводов является характерными, что делает возможным распространение полученных результатов на все заводы отрасли.

На основе анализа полученных результатов магистрант обосновал свои решения как технически, как и экономически.

По работе имеется замечание:

Желательно привести рекомендуемые конкретные значения удельных норм расхода электроэнергии при широком ассортименте продукции ЖБИ.

Однако это замечание не снижает ценность работы. Диссертация удовлетворяет требованиям предъявленным к магистерским диссертациям, а её автор Мустафоев Азизжон Олимжонович достоин присуждению степени магистра технических наук после соответствующей защиты.

Заведующей кафедры «Электрические машины

и кабельной техники»

д.т.н. Пирматов Н.Б.

О Т З Ы В

Научно руководителя на магистерскую диссертацию Мустафоева Азизжона Олимжоновича на тему: «Исследование проблем источников света и вопросы энергосбережения в системе освещения»

Мустафоев Азизжон Олимжонович за время обучения в магистратуре проявил себя, как способный и добросовестный магистрант. В процессе обучения он постоянно работал над собой, пользовался технической литературой и источниками из Интернета изучал режим работы основным оборудования и вопросы нормирования расхода электроэнергии заводов ЖБИ.

Кроме того, Мустафоев Азизжон Олимжонович проходил научно исследовательскую практику на заводе ЖБИ, где ознакомился и изучил режимы работы основного технологического оборудования завода ЖБИ.

Объем выполненной работы и полученные результаты для защите магистерской диссертации.

Мустафоев Азизжон Олимжонович достоин присуждения ему звания магистра технического наук по специальности 5А310201-Электроснабжение (по отраслей)

Руководитель

доц. Таслимов А.Д.

**МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН**

**ТАШКЕНТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ имени Абу Райхана Беруни**

на правах рукописи

Мустафоев Азизжон Олимжонович

**Исследование проблем источников света и вопросы энергосбережения в
системе освещения**

МАГИСТРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

на соискание степени магистра по специальности 5А310201 –
“Электроснабжение (промышленных предприятий и городов)”

Научный руководитель

к.т.н Таслимов А.Д..

Ташкент – 2016

СОДЕРЖАНИЕ.

ВВЕДЕНИЕ

Глава I: СОВРЕМЕННЫЕ ИСТОЧНИКИ СВЕТА И СИСТЕМЫ ОСВЕЩЕНИЯ

1.1 Эффективные характеристики оптического излучения.

1.2 Экономические аспекты энергоэффективного освещения

1.3. Основы проектирования внутреннего освещения

Глава II: ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ В ОСВЕТИТЕЛЬНЫХ УСТАНОВКАХ

2.1 ВВЕДЕНИЕ

**2.2 ОСНОВЫ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ ДЛЯ ОСВЕТИТЕЛЬНЫХ
УСТАНОВОК (ОУ)**

**2.3 СПОСОБЫ ПОВЫШЕНИЯ
ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ОСВЕТИТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК**

**2.4 СНИЖЕНИЕ РАСХОДА ЭЭ НА ЦЕЛИ ОСВЕЩЕНИЯ В ЖИЛЫХ
ЗДАНИЯХ**

**2.5 ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ОСВЕТИТЕЛЬНЫХ
УСТАНОВОК ОБЩЕСТВЕННЫХ ЗАДАНИЙ**

**2.6 ОРГАНИЗАЦИОННЫЕ МЕРОПРИЯТИЯ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ
ОСВЕЩЕНИЯ**

Глава III. Расчет экономии электроэнергии в действующих осветительных установках объекта

3.1

3.2.

Заключение

Список литературы

ВВЕДЕНИЕ

Каждый день значительное количество энергии уходит на освещение различных поверхностей, что включает в себя:

- свет в домах, квартирах, офисах и супермаркетах;
- подсветка городских зданий и достопримечательностей;
- освещение улиц, дорог и др.

По данным Мирового Энергетического Агентства около 19% мировой электроэнергии расходуется на освещение¹. В рамках Российской Федерации на нужды освещения расходуется до 13% вырабатываемой электроэнергии. Проблема энергосбережения наряду с оптимизацией экономики и охраны окружающей среды стала важнейшей в XXI веке - веке ограниченных ресурсов. По данным специалистов МЭА, в течение 200 лет потребление искусственного освещения обычным человеком увеличилось в 12 000 раз, от 5 килолюмен-часов на начало 19-го века до 60 мегалюмен-часов на сегодняшний день, хотя доля доходов, затрачиваемых на него, не выросла.² Глобальный по масштабу, но отнюдь не однородный, спрос на искусственное освещение все еще далек от насыщения. Учитывая данные тенденции, экономия электроэнергии за счет повышения эффективности осветительных установок является одной из самых приоритетных задач правительства в области развития энергетического комплекса и модернизации экономики страны.

Системы освещения непрерывно развиваются, а технологии светотехнической отрасли постоянно совершенствуются. Производители пытаются создать источники света максимально близкие к солнечному свету.

Цель данной работы - проанализировать место, которое занимает освещение в системе общего энергопотребления, продемонстрировать основные принципы функционирования сферы освещения, технологии, представленные в ней, а также механизмы и методы расчета систем освещения для возможности имплементации мероприятий по оптимизации систем

¹ МЭА, «Тщетные Усилия Света - Стратегия энергоэффективного освещения» / ОЭСР/МЭА, 2008, стр. 1

² МЭА, «Тщетные Усилия Света - Стратегия энергоэффективного освещения» / ОЭСР/МЭА, 2008, стр. 2

освещения, мероприятий, направленных на повышение энергоэффективности и ресурсосбережения в данной сфере.

Исходя из этого, основной фокус в настоящем разделе падает на анализ источников искусственного освещения, рассмотрение основных понятий и принципов сферы освещения. Также в разделе рассмотрены преимущества и недостатки существующих на рынке технологий, различные системы управления представленными технологиями - от простых технических до комплексных интеллектуальных решений. Подчеркнута важность развития институциональной структуры, которая поддерживает процессы повышения энергоэффективности и ресурсосбережения в области освещения, в следствие чего часть раздела посвящена анализу существующей нормативно-правовой базы.

Целью магистерской диссертационной работы является:

исследование и анализ проблем источников света, решение вопросов энергосбережения в системе освещения, изучение **СОВРЕМЕННЫХ ИСТОЧНИКОВ СВЕТА И СИСТЕМЫ их ОСВЕЩЕНИЯ**, а также расчет экономии электроэнергии в действующих осветительных установках.

Актуальностью магистерской диссертационной работы –В настоящее время существующие осветительные установки и системы их освещения характеризуется значительными затратами и большими расходами электроэнергии, поэтому исследование и анализ проблем источников света, решение вопросов энергосбережения в системе освещения, изучение **СОВРЕМЕННЫХ ИСТОЧНИКОВ СВЕТА И СИСТЕМЫ их ОСВЕЩЕНИЯ**, а также расчет экономии электроэнергии в действующих осветительных установках является актуальной задачей.

Научная новизна магистерской диссертационной работы состоит в получении конкретных значений экономии электроэнергии в действующих осветительных установках, в анализе и изучении **СОВРЕМЕННЫХ ИСТОЧНИКОВ СВЕТА И СИСТЕМЫ их освещения**

Практическая ценность магистерской диссертационной работы заключается в применении полученных результатов исследования проблем **ИСТОЧНИКОВ СВЕТА И СИСТЕМЫ ОСВЕЩЕНИЯ** при

проектирования электрического освещения объектов и а также расчет
экономии электроэнергии в действующих осветительных установках
объекта

ГЛАВА 1

СОВРЕМЕННЫЕ ИСТОЧНИКИ СВЕТА И СИСТЕМЫ ОСВЕЩЕНИЯ

1.1. Эффективные характеристики оптического излучения.

Приёмники оптического излучения

Анализ процессов поглощения и преобразования излучения веществом позволяет решить все технические вопросы проектирования и эксплуатации энергетических облучательных установок. В этих установках происходит преобразование энергии излучения в особые формы движения материи, включая электрическую, биологические, тепловую, химическую и др.

$$Q_{e\alpha} = \alpha_e \int_{t_0}^t \Phi_e(t) dt = Q_{eff} + \Delta Q_e,$$

Где $Q_{e\alpha}$ - энергия излучения, поглощённая телом в течение интервала времени от t_0 до t , α_e - коэффициент поглощения излучения веществом, $\Phi_e(t)$ – многозначные значения потока излучения, упавшего на облучаемое тело, Q_{eff} –эффективная энергия преобразованная в особую форму (электрическую, биологические, тепловую, химическую и т.д.), ΔQ_e –энергияпотерь , численно равная энергии тех форм движения материи, которые побочно возникают в исследуемом процессе преобразованная.

Тела, в которых происходит преобразование излучения, называют приёмниками энергии излучения. Имеются две группы приёмников – органической и неорганической природы. Приёмники первой группы принято называть биологическими в отличие от физических и химических приёмников второй группы.

Основными энергическими характеристиками любого приёмника являются его интегральная чувствительности. Чувствительность K приёмника определяется отношением эффективной энергии Q_{eff} к энергии излучения, упавшего на приёмник Q_e :

$$K = \frac{cQ_{eff}}{Q_e} = c\alpha_e\eta_e ,$$

где α_e - коэффициент поглощения, η_e - электрический выход процесса преобразования энергии излучения и c – коэффициент, зависящий от выбора единиц Q_{eff} . В практических случаях чувствительность приёмника определяют как отношение эффективной мощности P_{eff} к потоку излучения Φ_e :

$$K = cP_{eff}/\Phi_e$$

Большинство приёмников поглощают энергию избирательно для различных длин волн. Чувствительность к монохроматическим (однородным) излучениям принято называть спектральной чувствительностью приёмников в отличие от интегральной чувствительности, определяемой для сложного излучения, падающего на приёмник. Спектральная чувствительность приёмника

$$K(\lambda) = cdP_{eff}(\lambda)/d\Phi_e(\lambda)$$

Экономические аспекты энергоэффективного освещения

Для промышленно развитых стран расходы электроэнергии на нужды освещения составляют до 20% от общего объёма вырабатываемой электроэнергии (например, 12% для Нидерландов и 19% для США). В результате на освещение тратятся весьма большие денежные средства которые включают стоимость не только электроэнергии, но и светотехнического оборудования. В США общая сумма годовых расходов на электроэнергию составляет примерно 36 млрд. долларов, светотехническое оборудование – 8,3 млрд. долларов. Их распределение по статьям показано на рис. 1 и 2.

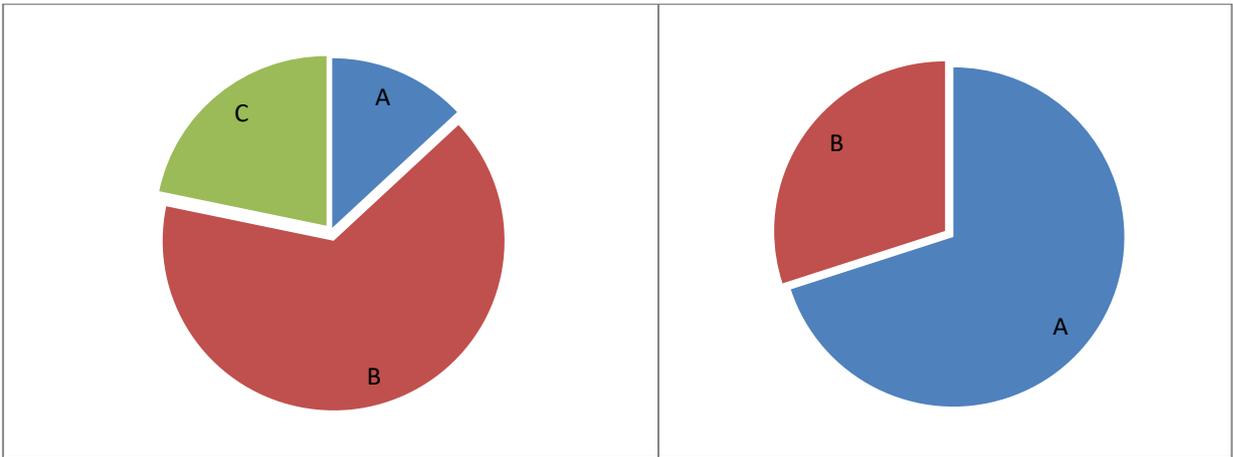


Рис. 1. Стоимость электроэнергии на освещение (в США): А - промышленные здания, В коммерческие и общественные здания, С - жилые здания.

Рис. 1. Стоимость светотехнического оборудования (в США): А - источники света, В - светильники и другие осветительные приборы

Если для западных стран стоимость потребленной электроэнергии существенно превосходит стоимость светотехнического оборудование, то для России наблюдается обратная картина. Такое положение обусловлено тем, что в России с одной стороны гораздо ниже тарифы на электроэнергию, а с другой стороны – существенно выше цены на оборудование, особенно высококачественное, экономичное надежное.

Доля электроэнергии, потребляемая осветительных устройствах вносит существенный вклад в общее негативное воздействие на экологию. На рис.3 отражены выбросы углекислого газа млрд. т/год, обусловленные выработкой электроэнергии только для целей освещения[3].

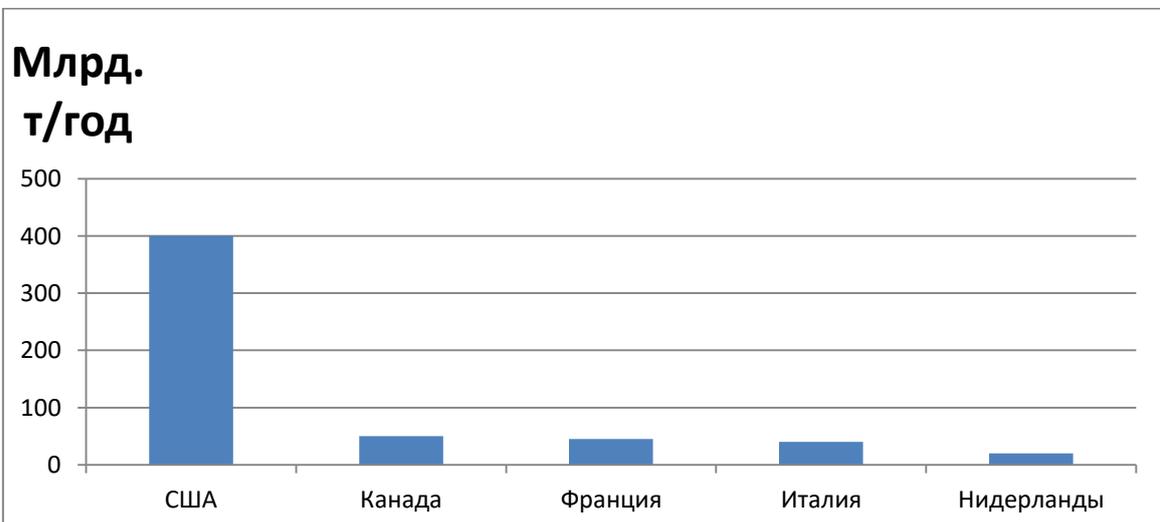


Рис. 3. Выбросы углекислого газа в атмосферу электростанциями

Затраты на освещение можно снизить на 30-50%.

Основные факторы, отрицательно влияющие на экономичность освещения:

- цены на электроэнергию, не отражающие её реальной стоимости;
- тарифы на электроэнергию, в которых не заложены экологические и другие не монетаристские аспекты;
- плохая информированность потребителей и малодоступность эффективных технологий;
- недостаток инвестиционного капитала для повышения эффективности энергопотребления;
- ситуация “разных интересов”, когда домовладельцы платят за оборудование, а жильцы оплачивают электроэнергию по счётчикам;
- нежелание промышленности проводить исследования и вести новые разработки, потенциальный рынок которых не исследован и не подготовлен.

Экономические расчёты

Для каждой модификации светотехнического оборудования рассчитываются капитальные и эксплуатационные расходы, которые суммируются. Далее, для каждого варианта осветительного устройства рассчитываются:

- годовое потребление электроэнергии;
- полная стоимость жизненного цикла вплоть до утилизации;
- приведённые затраты на обслуживание;
- стоимость сэкономленной энергии;
- срок окупаемости.

Как показывают опросы участников рынка, срок окупаемости новых высокоэффективных светильников необходимо снизить до 5-6 лет вместо существующих 7-9 лет.

В основе экономических расчётов систем освещения лежит следующее уравнение, позволяющее рассчитывать потребление электроэнергии за год[1]:

$$EC = 0.001 P t A,$$

Где EC – потребление энергии, кВт*ч/год; P -потребляемая мощность на освещение одного квадратного метра, Вт/м²; t -время работы, ч/год; A -освещаемая площадь, м².

Зная время работы осветительных устройств и освещаемые площади, можно рассчитать энергопотребление для каждого типа освещаемых площадей (здания: административные, жилье, общественные; дороги, стадионы, метро, и т.д.).

Годовые финансовые расходы M на освещение рассчитываются по формуле:

$$M = EC T,$$

где T -тариф на электроэнергию за 1 кВт*ч.

Приведённые ниже уравнения позволяют, оценить экономию энергии ES и прибыль от мероприятий по экономии электроэнергии:

$$ES = EC_B - EC_R$$

$$MS = M_B - M_R$$

где индексы B и R означают базовых вариант и вариант после реализации политики по энергосбережению.

Затраты на реализацию мероприятий по энергосбережению оцениваются как

$$PS = (ES CM) / OH$$

где OH – время наработки, ч; CM – граничная оценка затрат, выраженная в единицах стоимости, отнесённая к 1 кВт:

$$CM = (WAC_R - WAC_B) / (WAW_B - WAW_R)$$

WAW – средневзвешенная мощность, кВт, WAC -средневзвешенная стоимость.

Предполагается, что $WAC_R > WAC_B$, так как более совершенное оборудование будет стоить дороже и наоборот, $WAC_B > WAC_R$, так как принимается, что при новой политике будут использоваться более эффективные источники света с меньшим энергопотреблением.

Стоимость мероприятий по энергосбережению рассчитывается для каждого типа освещаемых площадей. Разность между суммами экономии и затрат определяет экономическую эффективность этих мероприятий.

Естественное освещение

В настоящее время проводятся исследования новейших технических систем с целью максимального использования дневного света как для наружного, так и для внутреннего освещения. Выявлено, что возможность экономии электроэнергии составляет до 50 % для типового административного здания (рис. 5)

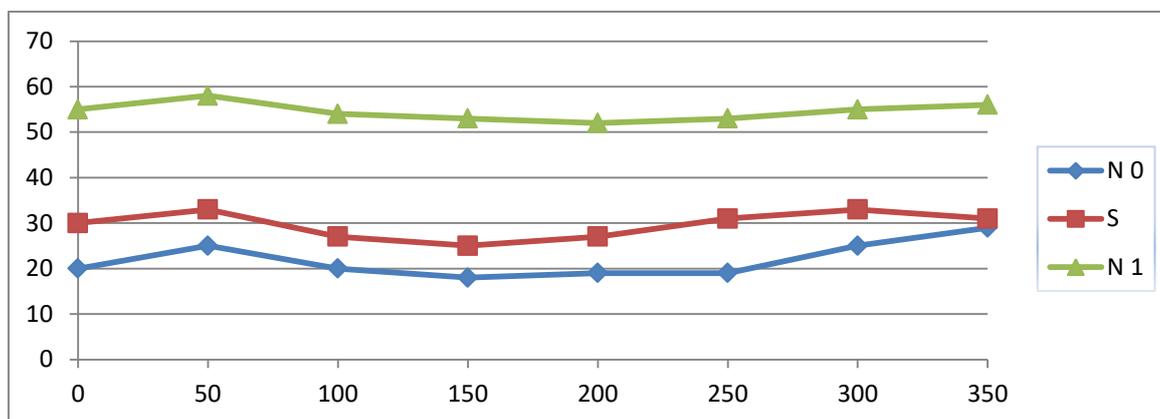


Рис. 5. Сравнение энергопотребление в Серевной и Южной световых зонах США без применения и с применением электронных систем регулирования совмещенного освещения в зданиях: N0, N1 - Серевная при отсутствии и начали систем регулирания соответственно, S-Южная зона

Основы проектирования внутреннего освещения

Введение

Цель проектирования внутреннего освещения – гарантировать выполнение зрительной работы, визуальный комфорт или требуемое их сочетание при высокой энергетической и финансовой эффективности.

Уровень освещённости, равномерность освещения, ослеплённость, объёмность и цветопередача – параметры, характеризующие данную осветительную установку. В общем случае должно соблюдаться определенные соотношения между уровнем яркости наблюдаемого объекта и требуемым уровнем горизонтальной освещённости (табл. 1) а также между контрастом освещения и яркостью фона (рис. 1).

Требования	яркость (кд/м ²)	освещённость (лк)
Минимум для нерабочих областей	1	20
Минимум для рабочих	10-20	200

интерьеров		
Предпочтительный диапазон для рабочих интерьеров	100-400	2000
Местное освещение для специальных задач	1000	20000

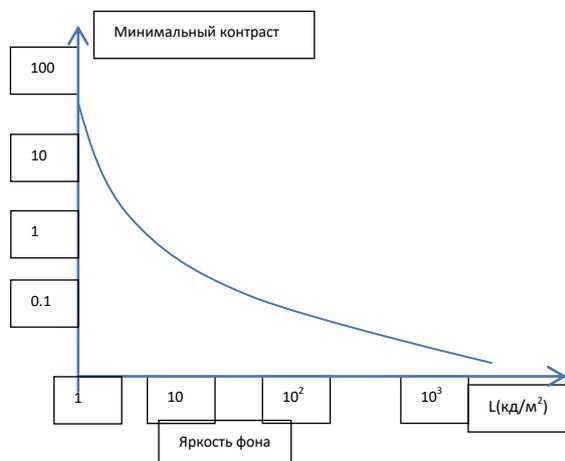


Рис. 1. Допустимые контрасты яркости

Что субъективно отменить различие между двумя близкими уровнями освещённости, они должны иметь отношение, приблизительно равное 1,5. Как следствие принята следующая шкала нормированных значение освещённости (лк):

20 – 30 – 50 – 75 – 100 – 150 – 200 – 300 – 500 – 750 – 1000 – 1500 – 2000.

Уровень освещённости обычно определяется на горизонтальной поверхности на высоте 0,8 м от пола для рабочих мест и на высоте 0,2 м для проходов.

Коэффициент равномерности освещённости (определимый как отношение минимум/максимум или минимум/среднее значение освещённости) не должен быть ниже 0,8 , а отношение между значениями освещённости любых двух смежных помещений не должно превышать 5:1.

Коэффициент запаса учитывает снижение освещённости в процессе эксплуатации вследствие ослабления светового потока лампы в течение срока ее службы, снижения отражающих свойств поверхностей и загрязнения, как показано нарис. 2. Типичные значения коэффициента запаса 0,6-0,8.

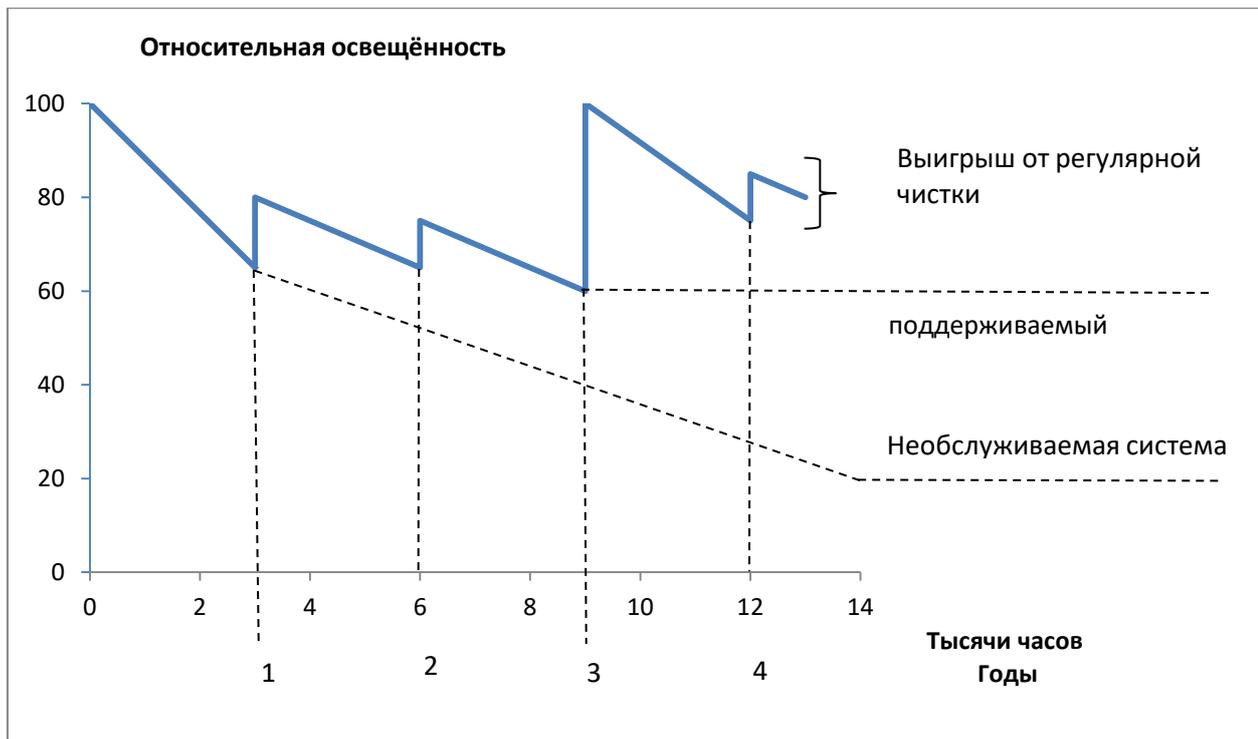


Рис. 2. Изменение освещённости во времени (светильник с люминесцентными лампами)

1 год - 1-я чистка

2 год - 2-я чистка

3 год - 3-я чистка и замена ламп

Неравномерность яркости внутри визуальной области возникает вследствие различий в свойствах отражающих поверхностей.

Рекомендуемый уровень яркости для рабочих помещений показан в табл. 2, а в табл. 3 приведены допустимые контрасты яркости поверхностей в визуальной области. На рис. 3 показаны рекомендуемые уровни яркости стен и потолка относительно горизонтальной рабочей поверхности.

Контраст (С) между двумя частями визуальной области, имеющими яркости L1(объект)и L2 (фон) может быть определен как $C = (L1 - L2) / L2$.

Нормирование ослеплённости позволяет избежать дискомфорта или ухудшения видимости в прямой или косвенной зоне зрения. Допустимые

уровни показателяослеплённости приведены в табл. 4. Критическая зона обзора лежит между 45° и 85° рис. 4.

Таблица 2. Шкала яркости для внутреннего освещения

Уровень яркость (кд/м ²)	1	2	5	10	20	50	100	200	500	1000	10000	
Области применения	Освещение рабочего места с видео дисплейным терминалом							Общее освещение				
		Черты человеческого лица				Выделенная стена или потолок						
						Специальные задачи освещение						

В таких помещениях, как видео-дисплейные классы, большие офисе в стиле “open-air” применяются светильники со специальной диаграммой направленности светового потока, например, типа “batwing” (рис. 14)подобные.

Таблица 3. Допустимые контрасты яркости внутри визуальной области

Между рабочей зоной и темными смежными поверхностями (максимальный)	3/1
Между рабочей зоной и светлыми смежными поверхностями (минимальный)	1/3
Между рабочей зоной и темными удаленными поверхностями (максимальный)	10/1
Между рабочей зоной и светлыми удаленными поверхностями (минимальный)	1/10
Между источником освещения и смежными поверхностями (максимальный)	20/1
Внутри всей визуальной области (максимальный)	40/1

Таблица 4. Допустимые уровни показателя ослеплённости P в зависимости от выполняемой работы или вида деятельности (СIE)

Класс	Характеристика зрительной работы	P
A – Очень высокое качество	Задачи с очень высокими визуальной требованиями	1,15

В –Высокое качество	Задачи с высокими визуальными требованиями. Задачи с умеренными визуальными требованиями, предполагающие высокую концентрацию зрения.	1,50
С – среднее качество	Задачи с умеренными визуальными требованиями, умеренными визуальными к концентрации и с некоторой степенью подвижности рабочего.	1,85
Д –Низкое качество	Задачи с низкими требованиями, как визуальными, так и к концентрации зрения, и частыми перемещениями рабочих внутри ограниченной области	2,20
Е – Очень низкое качество	Перемещения, где рабочие не имеют постоянного рабочего места, перемещаются с одного места на другое и выполняют задачи с низкими визуальными требованиями. Перемещения, в которых не находятся постоянно одни и те же люди.	2,55

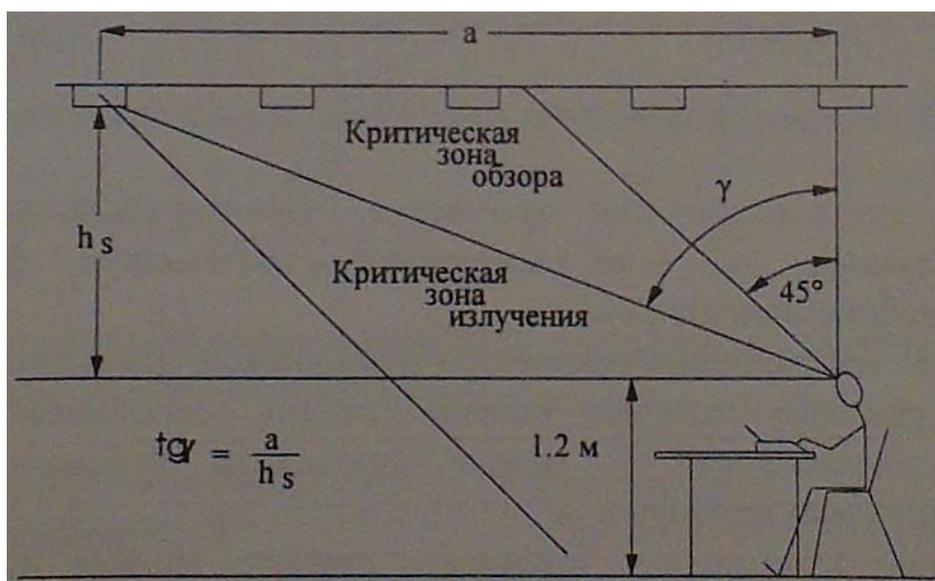
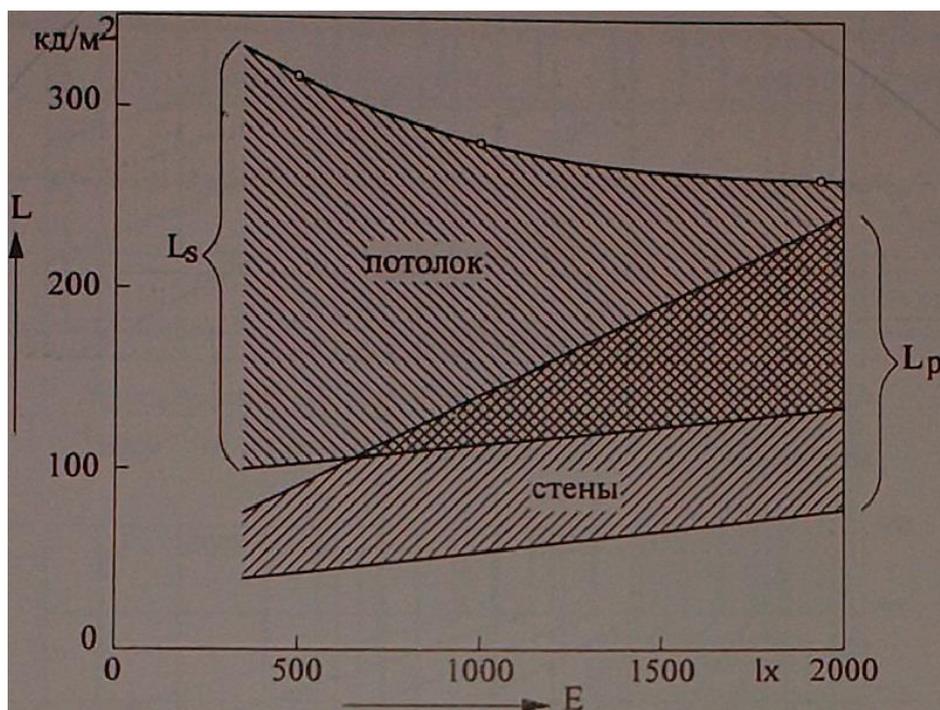


рис. 4. Критическая зона обзора и соответствующая критическая зона излучения светильника, в которой требуется ограничения

Класс	G	Создаваемая освещённость(лк)							
		A	b	c	d	e	F	G	h
A	1.15	2000	1000	500	300				
B	1.5		2000	1000	500	300			
C	1.85			2000	1000	500	300		
D	2.2				2000	1000	500	300	
E	2.55					2000	1000	500	300
		A	b	c	d	e	F	G	h

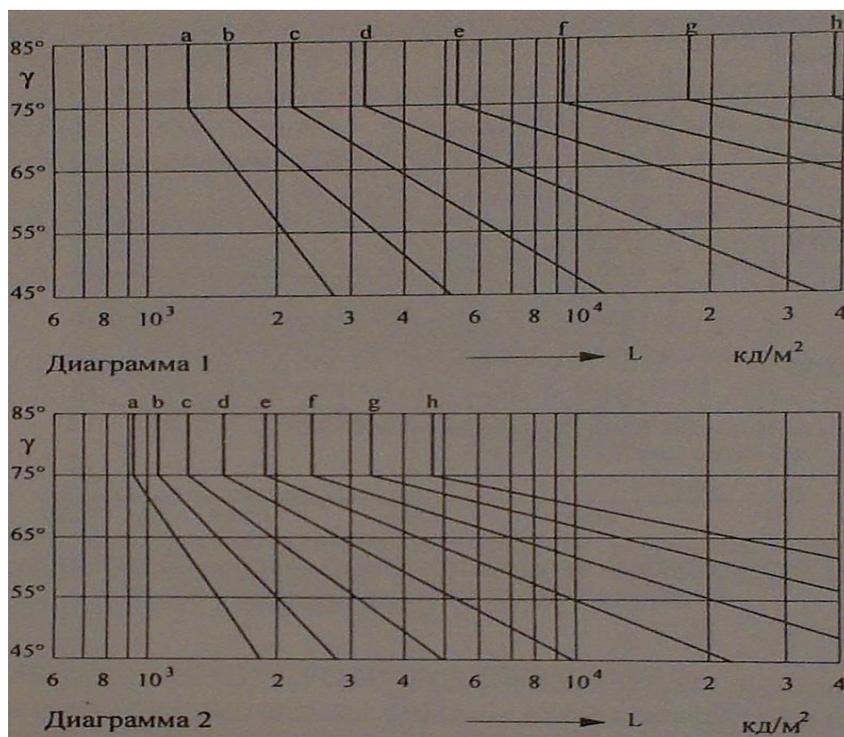


рис. 5. Диаграммы изменения яркости для оценки прямой ослеплённости

Диаграмма 1 – для направлений просмотра, параллельных продольной оси любого удлиненного светил удлиненного светильника или не имеющего светящихся боковых поверхностей, просматриваемых с любого направления.

Диаграмма 2 – для направлений просмотра под углом к продольной оси светильника при наличии светящихся боковых панелей. Задавая уровень освещённости и класс ограничения яркости (показатель дискомфорта G), можно определить требования к уровню яркости в различных направлениях или наоборот.

Диаграмма на рис. 5 позволяю оценивать прямую яркость для общего освещения в случае коэффициента отражение, по крайней мере 0,5 для потолка и стен и не мене 0,25 для мебели.

Для светящихся потолков ослеплённость ограничивается тем, что их яркость для углов больше чем 45° не должна превышать 500 кд/м^2 .

Для сравнения: яркость неба при которой начинает чувствоваться ослепление, приблизительно 2000 кд/м^2 , что ответствует 10000 лк в горизонтально плоскости.

Объёмность совещания может быть определена как способность света показать текстуру т трёхмерную форму объекта, создавая комбинации света и тени.

Горизонтальная освещённость (E_H), вертикальная освещённость (E_V), средняя сферическая освещённость (E_S), цилиндрическая (E_C), полуцилиндрическая (E_{sc}) для получения хорошей объёмности должны удовлетворят соотношениям:

Цветопередача может быть оценена с помощью трёхцветной диаграммы (СИЕверсия) цветовой температуры (табл. 5), индекса цветопередачи Ra(табл.

б) и в соответствии с диаграммой Кротова (рис. 6), полезной для первой ориентации в выборе уровня освещённости.

Таблица 5. Классификация

Группа	Цветовощущение	Цветовая температура (К)
1	Тёплый	До 3300
2	Средний	3300-5300
3	Прохладный	Более 5300

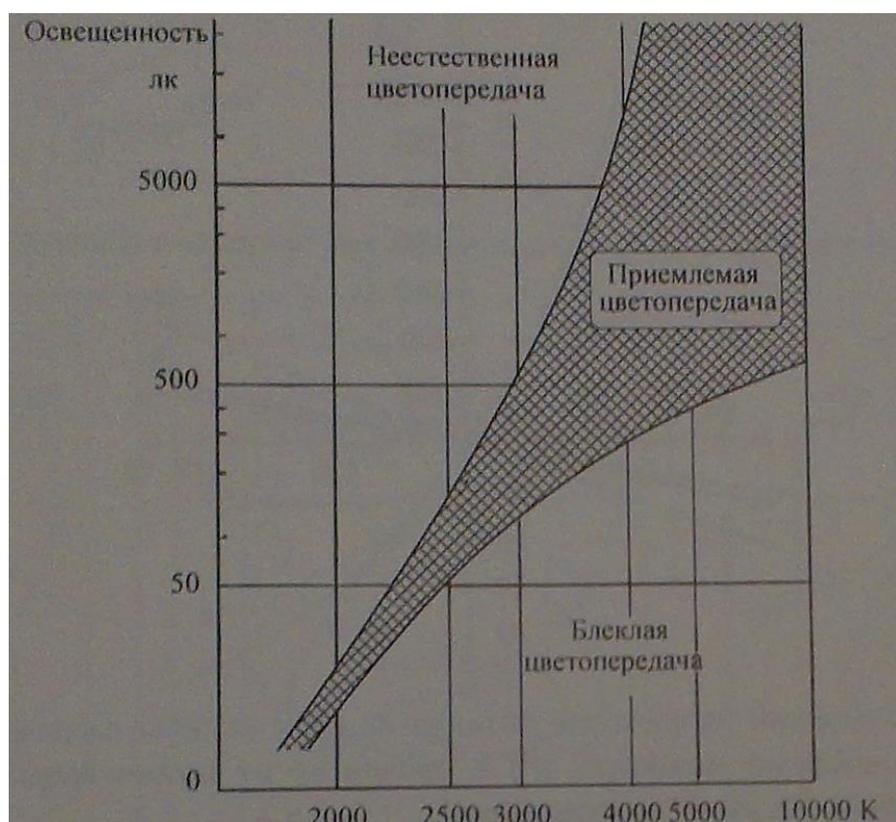


рис. 6. предпочтительная цветовая температура освещения при различных уровнях освещённости (диаграмма Кротова)

ГЛАВА 2

ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ В ОСВЕТИТЕЛЬНЫХ УСТАНОВКАХ

ВВЕДЕНИЕ

Во всем мире на наружное, бытовое и производственное освещение затрачивается значительная часть производимой электроэнергии. Поэтому вопросы энергосбережения при освещении являются весьма актуальными как в теории, так и на практике(1-8).

В нижеследующих таблицах приведены данные по годовому расходу электроэнергии для целей освещения (в абсолютных единицах и в процентах от производимой в стране электроэнергии), а также по объемам сжигаемого топлива и выбросам в атмосферу в некоторых развитых странах мира в России, отдельно по Москве.

СТРАНА	Млрд. кВт*ч	%
Россия	200	13
США	500	20
Англия	40	20
Нидерланды	16	20
Узбекистан	20	14

**Данные, относящиеся к России, приведены по бывшему СССР. Сейчас можно лишь сказать, что в процентах цифра возросла, а в абсолютном значении уменьшилась.*

СТРАНА	Объем ЭЭ на освещени е, млрд. кВт*ч	Количество топлива, млн. т		Выбросы в атмосферу		
		Мазут а	Каменног о угля	Двуокис и углерода , млн. т	Двуокис и серы, тыс. т	Двуокис и азота, тыс. т
Россия	200	49,5	61,9	65,6	430	230
США	500	123,7	154,6	163,9	1075	574
Англия	40	9,9	12,4	13,1	90	46
Нидерланд ы	16	3,96	4,95	5,25	34	18,4
Узбекистан	20					

Потребление электроэнергии в г. Москве в 1995 г.

Потребление электроэнергии (данные носят оценочный характер и не претендуют на высокую точность)		
Общее, млрд. кВт*ч	49	100%
В том числе		
В промышленности		28
В общественных		25
В жилых зданиях		16
На наземной транспорте		4
В метрополитене		2,6
Прочие потребители		24,5
На освещение, млрд. кВт*ч	6,1	13%
Выбросы в атмосферу при выработке ЭЭ, Потребляемой в ОУ Москвы	2,0	
-двуокиси углерода, млн. т	13,1	
-двуокиси серы, тыс. т	7,0	

-окиси азота, тыс. т		
----------------------	--	--

Приведенные данные не дают представление об эффективности использования электроэнергии на освещение, но показывают насколько значимым является снижение затрат на искусственное освещение при ограниченности и исчерпаемости энергоресурсов, а также ухудшении экологической обстановки. Для России же актуальность решения данной задачи кроме того определяется большим расходом электроэнергии в расчете на миллион жителей (более чем в 1,35-1,5 раза, чем в США, Великобритания, Японии) и наличием дефицита электроэнергии в ряде регионов страны.

ОСНОВЫ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ ДЛЯ ОСВЕТИТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК (ОУ)

Повышение эффективности энергопотребления может содействовать улучшенную экологической обстановки за счет снижения токсичных выбросов электростанций, вызывающих кислотные дожди и парниковый эффект.

Внимание к данной проблемы стало проявляться в конце 70-х в связи с энергетическим кризисом. О чем наглядно свидетельствует следующий факт. Для ОУ различного назначения на протяжении десятилетий было характерно непрерывное повышение нормируемых значений освещенности. Особенно показателен пример общественных зданий, для которых в США, Японии норма удваивалась каждые 10 лет (196-500 лк, 1970-1000 лк, 1980-2000 лк). В 80-е годы этот рост был оставлен и в ряде случаев даже наблюдался регресс, связанный главным образом, с энергетическими проблемами. Но сегодняшние день ни в одной стране мира максимальный уровень нормируемой освещенности в общественных зданиях не превышает 100 лк (в США, например, для чертежных и расчетных работ он составляет 700-1000 лк). В этой связи важно отметить такую тенденцию как нормирование (наряду с освещенностью) максимальных значений удельной мощности и удельного энергопотребления. Со временем это внимание стало уже обязательным. Об этом свидетельствуют государственные программы, принятые в последнее десятилетие практически во всех странах мира, прежде всего в наиболее развитых, в том числе и России. Следует привести перечень действующих нормативных документов в ряде стран.

Документы, регламентирующие в США эффективность ОУ, получили новую базу с принятием в октябре 1992 г. Акта по энергетической политике США (ЕРАct), являющимся всесторонним энергетическим стандартом, распространяющимся на многие области экономики. Одним из путей регламентации эффективности ОУ – это введение так называемых системных стандартов или стандартов на здание в целом. Подобный стандарт нормирует удельную мощность ОУ.

В России решению этой проблемы в немалой степени должны способствовать.

СНиП23-05-95, ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ЗАКОН “Об энергосбережении” (12), Программа энергосбережения в г. Москве и другие нормативные документы.

Появление этих программ и нормативных документов во много было обусловлено результатами проведенных научных исследований, созданием новых элементов светотехнических установок, существенным расширением номенклатуры источников света, ПРА, осветительных приборов, материалов, используемых при отделке зданий, сооружений, систем управления.

СПОСОБЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ОСВЕТИТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК

Энергопотребления ОУ определяются величиной электрической нагрузки и временем ее использования:

$$Q = \int_0^t P(t)dt$$

Величина мощности осветительного оборудования $P(t)$ в момент времени t , зависит от эффективности всех его компонентов (ИС, ПРА, ОП), а также от свойств освещаемого помещения (размеров и коэффициентов отражения его поверхностей), а также от способа управления осветительной установкой при наличии естественной освещенности и при присутствии людей и различных зонах помещения. Время в течение которого используется освещение, определяется тем, насколько освещаемые пространства задействованы в процессе работы а также видом системы управления ОУ. Таким образом, оно зависит от заложенной в проекте точности соответствия светотехнических параметров ОУ требованиям освещаемого помещения установленного в соответствии со светотехническими требованиями, возможностей управления ОУ, и, наконец, от адекватности эксплуатации ОУ потребителем. При оценке энергоэффективности каждый из указанных аспектов должен быть рассмотрен подробнее.

Экономия электрической энергии может быть достигнута как за счет уменьшения времени наработки за год. Номинальная мощность осветительного оборудования (установленная мощность ОУ) рассчитывается на стадии ее проектирования, исходя из номеруемых значений освещенности и качественных характеристик освещения, выбранной системы освещения и принятого способа размещения светильников, начальной световой отдачи используемых комплектов “лампа пускорегулирующий аппарат (ПРА)”, коэффициента использования светового потока осветительной установки относительно рабочей поверхности, коэффициента запаса, зависящего от изменения светового потока ламп и КПД светильников во времени, снижения отражающих характеристик поверхностей помещения во времени.

Экономия электроэнергии на цели освещения может быть достигнута разными способами, в том числе за счет:

- Совершенствования систем освещения
- Широкого использования эффективных источников света и соответствующей пускорегулирующей аппаратуры
- Правильного выбора и рационального размещения светильников
- Организации управления освещением и его автоматизации
- Рационального построения осветительных сетей
- Рациональной организации эксплуатации осветительной установки
- Использования современных отделочных материалов.

Необходимо отметить, что вопрос нормируемых параметров и характеристик ОУ требует отдельного и пристального внимания и в рамках данной работы не рассматривается.

Одним из наиболее эффективных направлений снижения затрат электроэнергии на цели освещения является использование современных высокоэффективных источников света. В полной мере их достоинства могут быть реализованы лишь при использовании соответствующих светильниках обеспечивающих рациональное распределение светового потока, с соответствующими ПРА, прежде всего с ЭПРА применение ЭПРА позволяет значительно снизить расход электротехнической стали и меди, уменьшить потери мощности в ПРА, увеличить световую отдачу комплекта “ЛАМПА-ПРА”, и тем самым снизить установленную мощность осветительной установки, улучшив при этом качественные характеристики осветительной установки. Важнейшим достоинством ЭПРА является возможность

регулирования светового потока ламп, что является необходимым условием для создания разнообразных систем автоматического и полуавтоматического контроля, регулирования и управления осветительными установками. По результатам анализа, проведенного по заказу Департамента энергетики США следует, что от 64 до 71% электроэнергии, потребляемой ОУ общественных зданий может сэкономлено, если использовать все известные современные технологии повешение эффективности освещения. В некоторых исследованиях принималось во внимание также вторичные последствия, проявляющиеся в системах отопление, вентиляции и кондиционирования и дающие дополнительную экономию. Для установок наружного и внутреннего освещение жилья размер потенциальной экономии электроэнергии составляет от 56 до 64%. Даже набор наиболее дешевых энергосберегающих технологии позволит получить экономию порядка 49-59% и 21-35% в общественном и жилом секторах соответственно.

Потенциал экономии электроэнергии при совершенствовании средств освещения

Мероприятие	Экономия ЭЭ, %
Переход на светильники с эффективными разрядными лампами	20-80
<ul style="list-style-type: none"> • Использование энергоэкономичных ЛЛ • Использование КЛЛ (при прямой замене ЛН) • Переход от ламп ДРЛ на лампы ДНаТ • Улучшение стабильности характеристик ламп (снижение коэффициента запаса ОУ) 	10-15 75-80 50 20-30
Применение электромагнитных ПРА с пониженными потерями для ЛЛ	30-40 70
Применение электронных ПРА	15-20
Применение светильников с эффективными КСС и высоким КПД	15-20
Применение СП нужного конструктивного исполнения с повышенным эксплуатационным КПД- снижение коэффициента	25-45

запаса (на 0,2-0,35)	
----------------------	--

Потенциал экономии электроэнергии при совершенствовании способов освещения

Мероприятие	Экономия ЭЭ, %
Выбор системы освещения - Использование локализованного освещения при доле вспомогательной площади помещения: - 25% - 50% - 75% - Использование комбинированного освещения вместо общего при площади, приводящейся на одно рабочее место -> 5 м ² /чел. и разряды зрительных работ в.г; ->10 м ² /чел. и разряды зрительных работ V	 20-25 35-40 55-65 25-50 15-20
Максимальное использование естественного света, в частности в зданиях глубокого заложения	20-45
Использование систем автоматического управления ОУ	1-40
Сопутствующее снижение мощность других инженерных систем (кондиционирования воздуха, отопления)	5-10

Необходимо отметить, что широкий ассортимент элементов ОУ, предлагаемый проектировщику, создает большие сложности при выборе элементов для конкретной осветительной установки. Проведенные нами исследования показывают, что имеющихся в каталоге, справочных материалах данных явно недостаточно для обоснованного выбора конкретных типов изделий. Так, например, натриевые лампы высокого давления, изготовленные разными фирмами, совершенно по разному ведут себя при отклонениях напряжение питающей сети от номинального значение с различными балластами.

В работе нам хотелось бы остановиться, прежде всего, на экономии электроэнергии на цели освещения в быту и в осветительных установках

общественных зданий. Это определяется следующими факторами: большой долей энергии расходуемой на освещение в таких зданиях, большим числом потребителей, большими потенциальными возможностями снижения энергозатрат.

Обобщенные сравнительные данные о производстве ИС и потребление электроэнергии на освещение в 1991 г.

Группа ламп, соотношение, ед. изм.	Западная Европа	Северная Америка	Япония	Бывший СССР
ЛОН, млн. шт.	1500	2350	160	2000
ЛЛ, млн. шт.	335	560	398	155
РЛ ВД, млн. шт.	25	25	7,7	13
Количество ЛН на 100 семей, шт.	940	1880	380	2470
Количество ЛЛ на 100 семей, шт.	210	450	890	191
Количество ЛЛ на 100 ЛН, шт.	25	25	250	7,1
Количество РЛ ВД на 100 ЛЛ, шт.	8	5	2	8,4
Доля КЛЛ от ЛН, %	2	1	10	0,3
Доля КЛЛ от ЛЛ, %	10	5	5	0,03
Доля электроэнергии на освещение, %	12	20-25		13
В быту	30	35		24
В промышленности	30	36		54
В общественных зданиях	25	26		17
У малых потребителей	15	26		5

Основные рыночные потребители и расход электроэнергии на освещение в Великобритании

Рыночный сектор и его доля и общем	Доля о общего энергопотребления	Потенциально возможное	Число потребителей
-------------------------------------------	----------------------------------------	-------------------------------	---------------------------

расходе ЭЭ	на вес нужды (230 ТВт*ч в год)	снижение энергозатрат	
Промышленные здания (14%)	2-3%	30%	193 тыс.
Административные, торговые и другие общественные здания (63%)	10-13%	30-50%	1 млн. 638 тыс.
Жилые здания (17%)	3-3,5%	50-70%	20 млн. 77тыс.
Улицы и площади (4%)	1%	30%	450 тыс.

СНИЖЕНИЕ РАСХОДА ЭЭ НА ЦЕЛИ ОСВЕЩЕНИЯ В ЖИЛЫХ ЗДАНИЯХ

Следует отметить, что доля электрической энергии, расходуемой на освещения жилых помещений относительно невелика. Так в Великобритании по данным Олдворда Р.С. на освещение жилых помещений расходуется 3-3,5 % всей электрической энергии. Несмотря на это, потенциал для снижения энергопотребления за счет использования современных источников света, здесь особенно велик, так как большая часть нагрузки в жилых помещениях обусловлена применением ЛОН, имеющих малую световую отдачу.

С целью изучения общественного мнения о структуре освещения жилых помещений, знании современных источников света и возможностях экономии электроэнергии, расходуемой в квартире, студенты и преподаватели кафедры Светотехники МЭИ организовали и повели опрос населения г. Москвы. В опросе принимали участие люди из разных социальных групп, в возрасте от 19 до 74 лет (всего 199 человек, средний возраст 37 лет), причем женщин и мужчин было примерно поровну. Всех опрошенных можно разделить на 7 социальных групп. Первая – 25 студентов технического ВУЗов в возрасте от 20 до 26 лет, причем будущих светотехников среди них не было. Вторая – 53 служащих небольших, в основном торговых организаций и фирм в возрасте от 19 до 56 лет. Третья – 23 служащих, названных руководящими работниками, в основном московского ткацко-отделочного комбината, в возрасте от 22 до 62 лет. Четвертая – 41 рабочей этого же комбината в возрасте от 21 до 49 лет. Пятая – 41 социальный работник, в основном, учителя и врачи в возрасте 23 до 63 лет. Шестая – 11 пенсионеров в возрасте

от 64 до 77 лет. Седьмая – 5 безработных в возрасте от 25 до 35 лет. Были заданы следующие вопросы:

1. Сколько электрических ламп в вашей квартире? Сколько среди них люминесцентных ламп?
2. Знаете ли вы о компактных люминесцентных лампах и их достоинствах? Сколько таких ламп вы используете?
3. Каков расход электроэнергии (кВт*ч) в вашей квартире за месяц (в среднем)?
4. Есть ли у вас в квартире другие потребители электроэнергии (телевизор, холодильник, электроплита, кондиционер, электронагреватель, стиральная машина и т.д.) (кол-во)?
5. Довольны ли вы качеством освещения в квартире – уровнем и равномерностью освещенности, светопередачей обратными отражениями (бликами) от телевизионных и компьютерных экранов?

Анализ результатов опроса показывает, что в среднем в квартире имеется 13 источников света. В основном – это лампы накаливания, хотя 23 процента опрошенных имеют в квартире 1 люминесцентную лампу до 5 (среднее количество таких ламп составляет по всем опрошенным 0,66 штук на квартиру). Причем среди отвечающих существует очень большой разброс мнений: самый большой процент имеющих люминесцентные лампы (47%) – у руководящих работников, самый маленький у безработных (6%) и пенсионеров (1%). Среднее потребление электроэнергии – 171 кВт*ч в месяц с большим разбросом потребителя от 100 кВт*ч (по пенсионерам) до 240 кВт*ч (по студентам). При существующих тарифах на электроэнергию в г. Москве (с 1 февраля 2000г. 40 копеек за 1 кВт*ч в домах не оборудованных электрическими плитами) затраты по нашим данным составляют от 20 до 96 рублей в месяц (по многим группе пенсионеров имеют 50% льготы по оплате). Отдельные участники опроса платят за электроэнергию до 200 рублей в месяц. В настоящее время во многих регионах страны две трети стоимости электроэнергии дотируется. Но коммунальная реформа не за горами, и через 1-2 года средняя оплата электроэнергии (без дотирования) может заметно увеличиться и составить 204 руб., а по отдельным квартирам доходить до 600 руб., если считать, что число энергопотребителей и их мощность, а также уровень цен за это время не изменятся. По имеющимся данным, в России на освещение в квартирах при наличии 3-4 дополнительных источников потребления (чаще всего это телевизор, холодильник, компьютер, музыкальный центр) тратится

примерно 50% электроэнергии. С учетом этого средняя и максимальная цифры платы за освещение могут составить 102 и 300 рублей соответственно. При приближении же к среднеевропейским тарифам на электроэнергию (7 центов за 1 кВт*ч), что также может произойти в обозримом будущем, плата за электроэнергию еще больше возрастет (примерно в 3 раза) и составит 12 и 35 долларов США. Многие категории населения будут все больше задумываться об экономии электроэнергии (особенно, если это не связано с ухудшением количественных и качественных показателей освещения). Кроме денежной экономии конкретного пользователя, экономия электроэнергии имеет большое значение для города в целом, а значит непосредственно для каждого ее жителя. Речь идет об уменьшении, как мощности, так и самих источников электроэнергии, многие из которых экологически небезопасны. Высвобождаемые средства налогоплательщиков могут идти в этом случае на другие, в том числе на социальные и экологические программы.

В настоящее время реальным средством энергосбережения в жилых помещениях (11) является замена ламп накаливания компактными люминесцентными лампами (КЛЛ) с цоколем E27. Но о них 43% опрошенных даже не слышали и только 17% знают, что такие лампы вворачиваются в патрон для ламп накаливания, потребляют при том же световом потоке в 4-6 раз меньше электроэнергии, имеют примерно в 10 раз больший срок службы, хорошую цветопередачу.

Согласно опросу, в квартирах КЛЛ составляет лишь 1,5% от общего количества электрических ламп. Поэтому полная замена источников света на КЛЛ в настоящее время снизила бы потребление электроэнергии в 4-6 раз. Если же учесть, что 60% студентов, 45% служащих считают недостаточным уровень освещенности в своих квартирах и следовало бы увеличить количество ламп в их квартирах, то эффект был бы еще больше.

Из нашего опроса ясно, что почти половина опрошенных, вообще ничего не знает о КЛЛ. Это связано с малой информированности людей о современных достижениях светотехники. Низкий же процент использования КЛЛ в квартирах даже у людей, которые о них знают, определяется прежде всего стоимостью таких ламп. Для многих КЛЛ является новинкой и для их использования нужна хорошая реклама, прежде всего телевизионная. На вопрос: готовы ли вы купить КЛЛ при условии, что ее стоимость превышает цену лампы накаливания в 50-70 раз, но с вышеназванными достоинствами, утвердительно ответили только

15% опрошенных. Причина – незавидное материальное положение многих людей и пока сравнительно малая стоимость электроэнергии. Кроме того, некоторые ошибочно считают, что потребление электроэнергии на освещение составляет малую часть от всего энергопотребления в квартире. Другие думают, что КЛЛ рекомендуется применять в основном в административных помещениях.

Следует отметить, что слышавшие о КЛЛ, не имеют представления о широкой номенклатуре таких источников света(но мощности, форме, световой температуре излучение), об особенностях использования КЛЛ. В частности, не знают, что большая часть светильников для жилого интерьера была сконструирована для работы с ЛН, имеющих, как правило, светораспределение существенно отличающееся от КСС КЛЛ. Поэтому соблазн просто заменить ЛН, ввернув вместо нее КЛЛ без изменения светильника, часто может привести непредвиденным потерям светового потока, резкому ухудшению светораспределения в помещении и зрительному дискомфорту. Опрошенным не известно, что комфортность освещения во многом зависит от цветности излучения таких источников.

Одним из путей решения проблемы является продажа КЛЛ, по примеру некоторых стран, в рекламных целях по сниженным ценам или даже раздача их бесплатно некоторым группам населения. Ну и конечно, необходимо широко распространять информацию о способах достижения необходимого качества освещения при экономии электроэнергии, в том числе в жилых помещениях. Вместе с тем, важнейшей задачей для светотехников является разработка световых приборов с компактными люминесцентными лампами.

На наш взгляд в настоящее время в исполнении Закона РФ “об энергосбережении” (12) имело бы смысл проводить следующую работу с целью донесения информации об энергосбережении при освещении быту:

- Организовать лабораторию для анализа результатов и достижений в мире осветительной технике, по конструированию световых приборов с КЛЛ, а также по регулярному аудиту состояния бытового освещения у населения в центре и регионах.
- Широкое оповещение в средствах массовой информации, в том числе, в электрон оповещение в средствах массовой информации, в том числе, в электронных СМИ о достижениях в осветительной технике.

- Проведение регулярных совещаний в городских и сельских организациях, отвечающих за освещение.

ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ОСВЕТИТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК ОБЩЕСТВЕННЫХ ЗАДАНИЙ

Проведенный нами анализ показал, что при реализации указанных возможности потенциал снижения установленной мощности искусственного освещения в общественных зданиях весьма ограничен. Например, лучшие из применяемых в настоящее время для внутреннего освещения общественных зданий источники света по характеристикам световой отдачи практически достигли “потолка” в 96-104 лм/Вт, а для современных типов светильников реальные значения КПД составляют 70-80% и резерв его повышения практически исчерпан. Все шире применяются отделочные материалы с высокими (до 0,8) коэффициентами отражения.

Тем не менее возможно значительное уменьшение потребления электроэнергии в осветительных установках. Анализ показывает, что в структуре энергопотребления общественных зданий доля расхода энергии на цели освещения достигает 70%, а четкая персональная ответственность и материальная заинтересованность в экономии электроэнергии трудно реализуемы. В этом случае оптимизировать энергопотребление можно за счет применения автоматизированных систем управления. Системы управления освещением (СУО) поддерживают требуемые (нормируемые) уровни освещенности в процессе эксплуатации осветительной установки в соответствии с заданной программой, исключая перерасход электроэнергии.

При использовании СУО экономия электроэнергии достигается за счет нескольких факторов.

Во-первых, в начальный период эксплуатации люминесцентных ламп, а также при избыточном количестве светильников создаваемая в помещении освещенность завышена и может автоматически уменьшаться до требуемого значения, что по оценке снижает энергопотребление на 15-25%.

Во-вторых, наиболее значительную экономию электроэнергии позволяет обеспечить рациональное использование естественного освещения (ЕО) (переход от искусственного освещения к совмещенному), так как в течение достаточно большого времени суток освещение может быть вообще

отключено либо включено на минимальную мощность (1-10% от минимальной). Экономия может достигать 25-40%.

В-третьих, часовая наработка осветительной установки при отсутствии автоматического управления также превышает рациональные значения, так как при стихийном управлении искусственное освещение остается включенным при достаточном ЕО и отсутствии в освещаемых помещениях людей, а также в нерабочее время из-за забывчивости персонала.

Автоматизация управления освещением направлена на решение следующих основных задач:

- Экономия ЭЭ, расходуемой на цели освещения;
- Обеспечение комфортной световой среды для пользователей;
- Создание удобства пользования ОУ.

Для оценки энергопотребления освещение, а здании, определение необходимости в обслуживании ОУ и оперативного выявления аварийных ситуаций в осветительной сети желательна возможность автоматизированного контроля состояния и режима работы ОУ всех помещений. Такая возможность, в особенности необходимая для многоэтажных зданий, также может предоставляется автоматизированными системами управления освещением (СОУ). Следовательно, автоматизированное управление освещением подразумевает наличие следующих функций:

I. Контроль состояния помещений:

1. Контроль наличия людей;
2. Контроль уровня освещенности и или других характеристик световой среды в помещении.

II. Контроль параметров питающей сети и режима работы светильников:

1. Контроль напряжения питающей сети, тока, потребляемой мощности, а также качественных характеристик питающей сети (содержание высших гармоник и др.);
2. Контроль исправности светильников и их состояния (вкл./выкл., режим его работы и др.);
3. Контроль энергопотребления группой светильников и или каждым светильником;
4. Контроль состояния органов ручного управления ОУ.

III. Управление освещением:

1. Автоматическое и или ручное;
2. Выключение и включение освещение (полностью или частично, по группам светильников) (сценарий может устанавливаться с пульта управление помещение);
3. Плавная либо ступенчатая регулировка световым потоком групп светильников или каждым светильников в отдельности;
4. Возможность установки сценария управления помещения.

IV. Передача информации на пост централизованного управления

1. О состоянии помещение
2. О состоянии осветительной установки и органов ручного управления;
3. О состоянии светильников и параметров питающий сети.

Возможный принцип автоматизированного управления освещением изображен на рис. 1

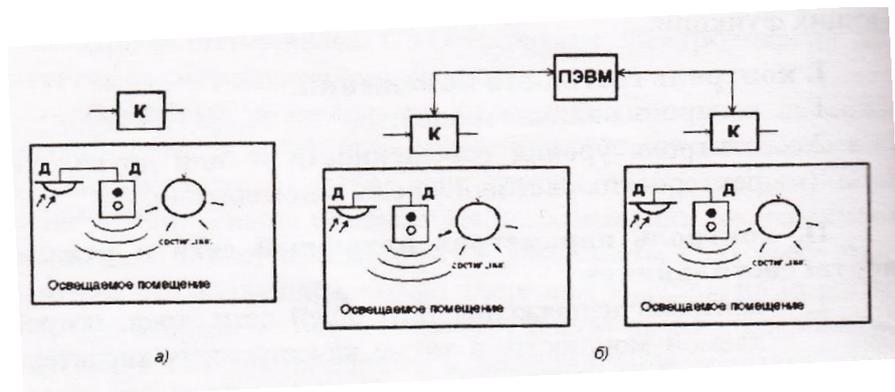


Рис. 1. Принцип построения систем автоматизированного управления освещением:

а) одноуровневой, б) двухуровневой.

Информационные сигналы (данные об освещенности в помещении, присутствии людей, сигналы ручного управления и т.д.) вырабатывается установленными в помещении датчиками Д, после чего поступают в контроллер К. В соответствии с заложенным в него алгоритмом контроллер вырабатывает управляющий сигнал (команда на регулирование, включение или отключение), поступающий на светильники, расположенные в

помещении. Данная СУО является одноуровневой, так как обработка информационного сигнала осуществляется на единственном уровне контроллера **К** [рис. 1а].

Осуществление централизованного управления освещением здания с помощью СУО, работающей в соответствии с описанным выше принципом, возможно путем применения одного контроллера на несколько помещений. Полученная таким способом централизованная СУО также будет являться одноуровневой, что определяет ее основные недостатки. К ним в первую очередь относится практически полная незащищенность от сбоев в контроллере, при которых происходит нарушение работе всей СУО. С нашей точки зрения, одноуровневые СУО целесообразно использовать для управления светильниками в одном или несколько близко расположенных помещениях, локальных СУО.

Проблему централизованного управления освещением здания целесообразно решать с использованием двухуровневых СУО (рис. 1б). При этом система содержит некоторое количество контроллеров первого уровня **К**, размещенных вблизи управляемых ОУ. Эти устройства в совокупности с находящимися в тех же помещениях датчиками **Д** образует первый уровень управления (т.е. фактически является локальными СУО). Централизованное управление второго уровня осуществляется персональной ЭВМ (**ПЭВМ**), единственной на все здание, и взаимодействующей уже не с отдельными датчиками и светильниками, а с контроллерами первого уровня. Это позволяет гибко совмещать централизацию управления освещением с локальным управлением, собирать статические данные о работе каждой УО, а также ограничивать возможности индивидуальных пользователей по воздействию на освещение, что необходимо в целях экономии ЭЭ. Двухуровневая СУО сохраняют частичную работоспособность при отказе практически любых ее элементов и предоставляет большие возможности по интеграции управления освещением с другими информационными системами здания.

В идеале СУО необходимо строить по двухуровневой схеме путем объединения локальных СУО в централизованную систему с распределением приоритетов в управлении между центральным постом и потребителем в зависимости от ситуации.

При этом центральная ПЭВМ в основном выполняет функции контроля состояния ОУ и задания режимов работы и системы, а локальные

контроллеры – учет требований индивидуальных пользователей и непосредственное управление освещением.

Концепция объединения локальных систем управления освещением в централизованную систему может быть реализована в рамках модульного принципа. Вариант структурной схемы такой системы представлен на рис. 2.

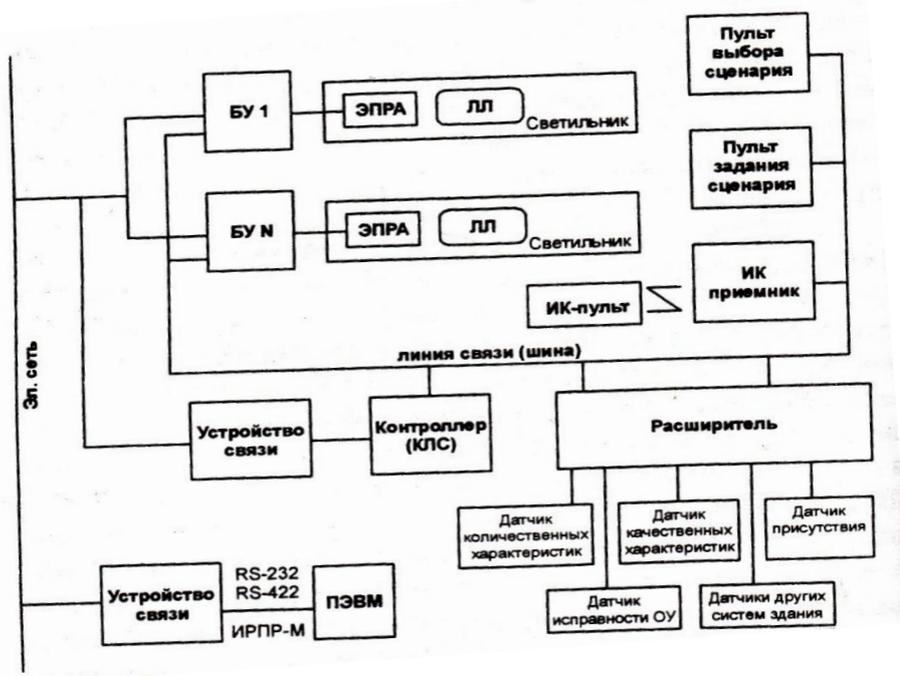


Рис. 2. Структурная схема системы управления освещением.

В состав схемы входят следующие модуле :

ПЭВМ центрального поста, задающая сценарии освещения для локальных систем управления освещением, собирающая и хранящая информацию о функционировании локальных систем.

Контроллер локальной системы управления освещением (КЛС), содержащий в оперативной памяти сценарий работы ОУ и обеспечивающий его реализацию. Сценарий может выбираться с пульта управления или с центрального поста и поддерживаться автоматически при изменении естественной освещенности. Приоритет в выборе сценария имеет центральный пост.

Блок управления (БУ), осуществляющий подключение питающей сети к ЭПРА и вырабатывающий сигналы определяющие яркость свечения люминесцентных ламп, подключение к ЭПРА. Наличие такого блока

позволяет работать с существующими регулируемые ЭПРА. В дальнейшем блок управления может быть совмещен с ЭПРА.

Устройства связи, обеспечивающие обмен информацией между ПВЭМ и контроллерами локальных систем. Обмен информацией может быть реализован с использованием различных каналов связи (по проводным линиям, радиоканалам, по телефонным линиям и т.д.), однако наиболее перспективным с нашей точки зрения способом организации обмена информацией представляется использование электросети в качестве канала связи.

Расширитель, обеспечивающие передачу информации о состоянии датчиков в КЛС.

Пульты управления, необходимые для обеспечения работы локальных система управления освещением (программирования и выбора сценария освещения). Могут быть представлены пультами выбора и задания сценария. Одним из наиболее удобных для пользователей и технически отработанным вариантом управление является использование дистанционного пульта, работающего на ИК-лучах или радиочастотах.

Датчики, контролирующее состояние помещения (например, горизонтальную либо среднюю цилиндрическую освещенность в контрольных точках, наличие людей, энергопотребление) и передающие информации о нем в КЛС.

В предлагаемой системе можно выделить следующие функции управления:

- Функцию начальной установки сценария освещения, а именно выбор задействованных светильников и их яркости,
- Функцию поддержания заданной сценарием освещенности в определенных зонах помещения при изменении естественного фонового освещения
- Функцию отключения либо перехода на экономичный режим освещения при отсутствии людей.

В централизованной системе может быть организована смена сценариев освещения по расписанию и учет энергопотребления по отдельным помещениям. Возможна также реализация управление ОУ по сложным алгоритмам, позволяющим например, обеспечить требуемые качественные характеристики освещения.

Приведённые в литературе данные показывают, что добиться максимальной экономии ЭЭ, совместимости СУО с другими системами задания и максимального удобства для пользователя можно только с использованием двухуровневых централизованных систем управления. В соответствии с этим для создания отечественных образцов подобных систем нам представляется целесообразным:

- Построение СУО как совокупности локальных контроллеров, взаимодействующих с центральной ЭВМ;
- Назначение функций непосредственного регулирования освещением локальным контроллерам, а централизованного управления и контроля – центральной ЭВМ;
- Придание СУО функций учета естественного света в помещении, присутствия людей и возможности работы с беспроводным дистанционным управлением;
- Использование проводов электросети в качестве шины передачи данных с целью упрощения монтажа и обслуживания СУО.

Следует отметить, что ОУ, управляемая по сигналам фотодатчиков, по сути является установкой совмещенного освещения. Это накладывает дополнительные специфические требования к количественным и качественным характеристикам световой среды, а следовательно, и к алгоритму работы СУО. Например, решающая роль в определении “поведения” ОУ в зависимости от уровня естественного может принадлежать некоторым качественным характеристикам освещения, а не традиционно используемой горизонтальной освещенности. Поэтому актуальной светотехнической задачей исследований в области СОУ является установление приоритетов в системе параметров световой среды и выработка алгоритма работы СУО в зависимости от наиболее важных и этих параметров.

В заключение хотелось отметить следующее:

Из проведенных исследований следует, что успех в решении проблемы снижения энергопотребления и уменьшения затрат на цели освещения может быть достигнут лишь при комплексном подходе к данной проблеме. Необходим целый комплекс мер по повышению энергоэффективности ОУ. Содействие более экономичным технологиям может производиться несколькими способами. В их числе установка требований к изделиям, разработка стандартов на ОУ и их компоненты, маркировка продукции, введение набора добровольных мероприятий, программы содействия и

субсидирования, общеобразовательные программы, включающие публикацию информации о качественных изделиях.

ОРГАНИЗАЦИОННЫЕ МЕРОПРИЯТИЯ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ОСВЕЩЕНИЯ

Нормы и стандарты. Стандарты на энергоэффективность искусственного освещения могут регулировать эффективность компонентов ОУ, предписывать параметры оборудования или определять экономичность ОУ в целом.

Стандарт на эффективность системы в целом дает потенциальную возможность получить большую отдачу, чем два предыдущих (стандарт на конкретный компонент ОУ, предписывающий стандарт на оборудование), так и время его использования. Он предоставляет большую гибкость для разработки энергоэффективного освещения.

Маркировка. Ожидаемая экономия ЭЭ за счет маркировки изделий вероятно будет меньше достигаемой путем введения стандартов. Результаты, полученные Антиксон показывают, что эффект от введения маркировки относительно небольшой.

Добровольные мероприятия.

Программы содействия.

Практические руководства и рекомендации.

Возможно также внедрение других инициатив, например, добровольных соглашений между производителями, введение норм для правительственных зданий, государственных субсидий и т.д.

Точность проектирования.

Светотехническое проектирование следует признать является неточной наукой. До сих мы объясняли это с определенной долей истины тем, что освещение – это в той же степени искусство, сколько и наука. Появление законопроектов и стандартов освещение, вызванных энергетическим кризисом, заставляет светотехников пересмотреть некоторые основные догмы. Мы должны быть убеждены в том, что действительно оптимизируем эффективность использования энергии и тем самым обосновать наши требования. Необходимо еще раз обратить внимание на точность фотометрических средств и методов с помощью которых мы измеряем характеристики ИС и ОП, на неопределенности, заложенные в проектные

процедуры и расчеты. До тех пор пока существует неопределённость фотометрических величин нет большой разницы в том, выполнены ли расчеты в ручную или на ЭВМ. Примером неопределенности светотехнический расчетов может служить ситуация, когда при оценке характеристик ОУ в расчет принимают, что все ИС и светильники имеют неизменные характеристики в течение продолжительного времени.

Каково же будущее энергоэффективного освещения?

1. Промышленность и наука должны продолжать вести разработки и исследования,
2. Правительство, промышленность и продавцы оборудования и энергии должны стимулировать развитие тех рыночных секторов, которые могут дать существенное снижение потребления энергии.
3. Правительство должно стимулировать потребителей использовать доступные современные технологии.

Для достижения этих целей необходимо улучшить связи между заинтересованными участниками. Они имеют различные мотивы, интересы и проблемы. Всё это требует оценки, выработки взаимопонимания и согласованной политики.

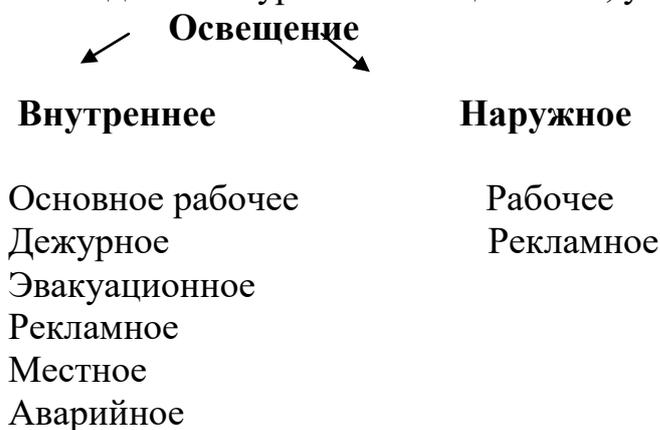
Расчет экономии электроэнергии в действующих осветительных установках объекта при проведении энергетического обследования

Комплексное энергетическое обследование объекта (энергоаудит) и разработка на его основе экономически целесообразных мероприятий по экономии энергии разрабатываются для каждого отдельного типа потребителя энергии: освещение, технологическое оборудование нагрев, технология, , вентиляция и т.п. Сначала производится анализ состояния систем энергопотребления, а затем - расчет экономии энергии по определенным методикам.

Система освещения является весомым потребителем электроэнергии, особенно в административных зданиях (до 80%). Поэтому применение предлагаемой методики приобретает большое значение при энергоаудите.

Для анализа состояния **системы освещения** обследуемого объекта необходимо собрать следующую информацию:

- режим работы предприятия;
- тип и количество существующих светильников, их ПРА;
- тип, количество и мощность используемых ламп;
- режим работы системы искусственного освещения;
- характеристики поверхностей помещений (коэффициенты отражения);
- год установки светильников;
- периодичность чистки светильников;
- фактический и нормированный уровень освещенности;
- характеристика значения напряжения измерений освещенности;
- размеры помещения, достаточность освещенности;
- средний фактический срок службы ламп;
- фактическое и нормированное значение коэффициента естественной освещенности;
- сведения об уровне освещенности, установленных светильниках.



Расчет показателей энергопотребления на основании вышеперечисленных данных полученных в результате инструментального обследования объекта.

Установленная мощность:

$$P_i = P_{\lambda} \cdot K_{пра} \cdot N \quad [\text{Вт}], \quad \text{Осв. Э.У.} \quad \text{где:} \quad (1)$$

P_i - мощность осветительной установки i -го помещения в обследуемом объекте;

$K_{пра}$ - коэффициент потерь в пускорегулирующей аппаратуре осветительных приборов;

P_{λ} - мощность лампы;

N - количество однотипных ламп в осветительной установке i -го помещения.

Годовое и удельное энергопотребление: О.С.

$$W_{\Gamma} = \sum_{i=1}^n W_{\Gamma_i} = \sum_{i=1}^n P_i \cdot T_{\Gamma_i} \cdot k_{И_i} \quad [\text{кВтч}], \quad \text{где:} \quad (2)$$

W_{Γ} - суммарное годовое потребление электроэнергии;

W_{Γ_i} - годовое потребление ОУ i -го помещения;

T_{Γ_i} - годовое число часов работы системы i -го помещения;

$k_{И_i}$ - коэффициент использования установленной электрической мощности в ОУ i -го помещения ($k_{И_i}=1$).

$$W_{\Gamma_{уд}} = \frac{W_{\Gamma}}{\sum_{i=1}^n S_i} \quad [\text{кВтч/м}^2], \quad \text{где:} \quad (3)$$

$W_{\Gamma_{уд}}$ - годовое удельное потребление электроэнергии; S_i - площадь i -го помещения в исследуемом объекте.

Удельные показатели энергопотребления или установленной мощности (Вт/м^2) позволяют на основе норм приближенно ($\pm 20\%$) оценить общий потенциал экономии энергии.

Для более точной оценки по каждому мероприятию необходимо выполнить расчет экономии электроэнергии по нижеприведенной методике.

Сначала необходимо определить фактическое среднее значение освещенности с учетом отклонения напряжения в сети от номинального по формуле:

$$E_{\phi} = \frac{E'_{\phi} \cdot U_{н}}{U_{н} - k(U_{н} - U_{ср})} \text{ [лк]}, \quad \text{где:} \quad (4)$$

E'_{ϕ} - измеренная фактическая освещенность, лк;

k - коэффициент учитывающий изменения светового потока лампы при отклонении напряжения питающей сети ($k=4$ для ламп накаливания, $k=2$ для газоразрядных ламп);

$U_{н}$ - номинальное напряжение сети, В;

$U_{ср}$ - среднее фактическое значение напряжения $U_{ср}=(U_1+U_2)/2$ [В] (U_1 и U_2 - значения напряжения сети в начале и конце измерения).

Для учета отклонения фактической освещенности от нормативных значений определяем коэффициент приведения:

$$k_{ni}=E_{\phi i}/E_{ni}, \quad \text{где:} \quad (5)$$

k_{ni} - коэффициент приведения освещенности i -го помещения;

$E_{\phi i}$ - нормируемое значение освещенности в i -ом помещении; E_{ni} - фактическое значение освещенности в i -ом помещении.

Потенциал годовой экономии электроэнергии в ОУ обследуемого помещения рассчитывается по формуле:

$$\Delta W_{\Gamma} = \sum_{i=1}^n k_{ni} \cdot \sum_{k=1}^f \Delta W_i^k \quad \text{[кВтч/год]}, \quad \text{где:} \quad (6)$$

ΔW_i^k - потенциал экономии электроэнергии в кВтч/год для i -го помещения и k -го мероприятия.

К основным мероприятиям относятся:

Т.М. 1. Переход на другой тип источника света с более высокой светоотдачей (лм/вт). Экономия электроэнергии в результате данного мероприятия определяется по формуле:

$$\Delta W_i = W_{\Gamma i} (1 - k_{uci} k_{zni}) \text{ [кВтч/год]}, \quad \text{где:} \quad (7)$$

k_{uci} - коэффициент эффективности замены типа источника света;

k_{zni} - коэффициент запаса учитывающий снижение светового потока лампы в течение срока службы [1] (при замене ламп с близким по значению k_{zn} но с разной эффективностью k_{zn} исключается или корректируется, кроме случая когда обследование проводилось после групповой замены источников света).

(8)

$$k_{uci} = \eta / \eta_N, \text{ где:}$$

η - светоотдача существующего источника света [лм/вт];

η_N - светоотдача предлагаемого к установке источника света [лм/вт].

О.М. 2. Повышение уровня освещенности существующих осветительных приборов вследствие их чистки. Экономия электроэнергии в результате данного мероприятия определяется по формуле:

$$\Delta W_i = W_{Gi} k_{ci} \text{ [кВтч/год]}, \text{ где:} \tag{9}$$

k_{ci} - коэффициент эффективности чистки светильников.

$$k_{ci} = 1 - (\eta_c + \eta_c e^{-(t/t_c)}) \text{ , где:} \tag{10}$$

Анализ графика ППР и ТО

η_c, η_c, t_c - постоянные для заданных условий эксплуатации светильников [1];

t - продолжительность эксплуатации светильников между двумя ближайшими чистками.

3. Повышение эффективности использования отражённого света (Отражатели, рассеиватели, дефлекторы).

Увеличение коэффициентов отражения поверхностей помещений на 20% и более (покраска в более светлые тона, побелка, мойка) позволяет экономить 5-15% электроэнергии, вследствие увеличения уровня освещенности от естественного и искусственного освещения.

Эффективность данного мероприятия зависит от большого числа факторов: размеры помещения, коэффициенты отражения поверхностей помещения, расположение светопроемов, коэффициент естественной освещенности (КЕО), режим работы людей в помещении, светораспределение и расположение светильников. Поэтому более точное значение экономии электроэнергии можно получить на основании светотехнического расчета методом коэффициента использования [1].

4. Повышение эффективности использования электроэнергии при автоматизации управления освещением. (Датчики движения, дистанционное, местное управление с/без фиксации и т.д.)

Эффективность данного мероприятия является многофакторной, методика расчета экономии электроэнергии, представленная в [2], сложна для использования при энергообследовании, но может быть рекомендована при необходимости точной оценки.

На основании опыта внедрения систем автоматизации и экономию от данного мероприятия можно определить по следующей формуле:

(11)

$$\square W_i = W_{Гi}(k_{эai} - 1) \text{ [кВтч/год]} \quad , \text{ где:}$$

$k_{эai}$ - коэффициент эффективности автоматизации управления освещением, который зависит от уровня сложности системы управления.

В таблице 1 представлены значения $k_{эai}$ для предприятий и организаций с обычным режимом работы (1 смена).

Таблица 1.

№ п.п.	Уровень сложности системы автоматического управления освещением	$k_{эai}$
1	Контроль уровня освещенности и автоматическое включение и отключение системы освещения при критическом значении Е	1,1 - 1,15
2	Зонное управление освещением (включение и отключение освещения дискретно, в зависимости от зонного распределения естественной освещенности)	1,2 - 1,25
3	Плавное управление мощностью и световым потоком светильников в зависимости от распределения естественной освещенности	1,3 - 1,4

5. Установка энергоэффективной пускорегулирующей аппаратуры (ПРА).

(12)

$$\square W_i = W_{Гi}(1 - K_{праi}^N / K_{праi}) \text{ [кВтч/год]} \quad , \text{ где:}$$

$K_{праi}$ - коэффициент потерь в ПРА существующих светильников системы освещения i -го помещения; $K_{праi}^N$ - коэффициент потерь в устанавливаемых ПРА.

6. Замена светильников является наиболее эффективным комплексным мероприятием, так как включает в себя замену ламп, повышение КПД светильника, оптимизацию светораспределения светильника и его расположения.

Для точной оценки экономии электроэнергии необходимо производить светотехнический расчет освещенности для предполагаемых к установке светильников методом коэффициента использования или точечным методом [1]. По расчетному значению установленной мощности (из светотехнического расчета) экономия электроэнергии определяется по формуле:

$$\square W_i = W_{Гi} - P_i^N T_{Гi} \quad [\text{кВтч/год}] \quad , \text{ где:} \quad (13)$$

P_i^N - установленная мощность после замены светильников; $T_{Гi}$ - годовое число часов работы системы искусственного освещения i -го помещения.

При упрощенной оценке (при замене светильников на аналогичные по светораспределению и расположению) расчет производится по следующей формуле:

$$W_i = W_{Гi} (1 - k_{uci} k_{zni} k_{чи} k_{cvi} K_{npai}^N / K_{npai}) \quad [\text{кВтч/год}] \quad , \text{ где:} \quad (14)$$

k_{cvi} - коэффициент учитывающий повышение КПД светильника.

$$k_{cvi} = q_i / q_i^N \quad [\text{кВтч/год}] \quad , \text{ где:} \quad (15)$$

q_i - паспортный КПД существующих светильников;

q_i^N - паспортный КПД предполагаемых к установке светильников.

Расчет экономии электроэнергии при замене светильников учитывает мероприятия № 1, 2, 5, поэтому их следует исключать при расчете общей экономии электроэнергии в i -ом помещении.

В случае большого числа однотипных помещений в обследуемом здании со схожими по параметрам, состоянию, и мероприятиям ОУ расчет производится с помощью удельных показателей экономии электроэнергии.

$$\square W_{y\partial}^j = \square W_i^j / S_i^j \quad [\text{кВтч/год}] \quad , \text{ где:} \quad (16)$$

$\square W_{y\partial}^j$ - удельная экономия электроэнергии для j - типа помещения;

$\square W_i^j$ - расчетная экономия электроэнергии для i -го помещения; S_i^j - площадь i -го помещения.

Общая экономия электроэнергии в системах освещения обследуемого объекта определяется по формуле:

$$\Delta W_{Г} = \sum_{j=1}^N \Delta W_{y\partial}^j \cdot S^j \quad [\text{кВтч}] \quad , \text{ где:} \quad (17)$$

S^j - общая площадь помещений j -го типа;

N - количество типов помещений.

В среднем на объектах, где проводился энергоаудит (ВУЗы и НИИ) и расчеты экономии электроэнергии, экономически реальный потенциал экономии электроэнергии в системах освещения составил **15-20%**.

ПРИМЕР:

Административное здание 1986 года постройки; система освещения финансового отдела выполнена светильниками типа ЛПО 02 2x40 с КПД = 52%; используемые лампы типа ЛБ 40 с $\eta = 75$ лм/Вт; режим работы - 1 смена (с 8 до 17 часов); количество светильников 15 штук; размеры помещения 5x15x3 метра; средневзвешенный коэффициент отражения поверхностей помещения $\rho = 0,3$; нормированная освещенность 300 лк; фактическая освещенность 250 лк; количество часов работы искусственного освещения в год $T_{\Gamma} = 1300$ часов; напряжение сети во время измерений $U_c = 220$ В; коэффициент естественной освещенности соответствует норме, коэффициент использования 0,92; на момент измерений прошло 360 дней со дня последней чистки.

Расчет:

1. Установленная мощность

$$P = P_{\text{л}} K_{\text{пра}} N = 40 * 1,2 * 30 = 1440 \text{ Вт};$$

2. Годовое энергопотребление

$$W_{\Gamma} = P T_{\Gamma} k_{\text{и}} = 1440 * 1300 * 0,92 = 1872 \text{ кВтч/год};$$

3. Экономия за счет перехода на люминесцентные лампы пониженной мощности

типа TL-D 36/84, с $\eta_{\text{N}} = 93$ лм/Вт.

$$\eta W^1 = W_{\Gamma} (1 - k_{\text{ис}}) = 1872 * (1 - 0,81) = 356 \text{ кВт*ч/год};$$

4. Экономия за счет чистки светильников

$$k_{\text{чи}} = 1 - (\eta_c + \eta_c e^{-(t/t_c)}) = 1 - (0,95 + 0,02) = 0,03;$$

$$\eta W^2 = W_{\Gamma} k_{\text{ч}} = 1872 * 0,03 = 56 \text{ кВтч/год};$$

5. Экономия энергии при повышении коэффициента отражения поверхностей помещения до $\rho = 0,5$ (покраска, побелка) составит 10% или

$$\eta W^3 = 187 \text{ кВтч/год};$$

6. Экономия энергии в результате внедрения системы автоматического включения и отключения освещения

$$\square W^4 = W_{\Gamma} (k_{\varepsilon a} - 1) = 1872 * (1,1 - 1) = 187 \text{ кВтч/год};$$

7. Экономия энергии вследствие установки электронных ПРА с $K_{пра}^N = 1,1$

$$\square W^5 = W_{\Gamma} (1 - K_{пра}^N / K_{пра}) = 1872 * (1 - 0,92) = 150 \text{ кВтч/год};$$

8. Экономия за счет установки новых светильников с более высоким КПД = 75%, но с аналогичным светораспределением

$$\square W^6 = W_{\Gamma} (1 - k_{св}) = 1872 * (1 - 0,52/0,75) = 580 \text{ кВтч/год};$$

9. Общий резерв экономии энергии составит:

$$\Delta W_{\Sigma} = k_{\Pi} \sum_{k=1}^f \Delta W_i^k = 250/300 * 1516 = 1263 \text{ кВтч/год.}$$

ЛИТЕРАТУРА

1. Справочная книга по светотехнике / Под редакцией Ю. Б. Айзенберга. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Энергоатомиздат, 1995. - 528 с. : ил.
2. Кунгс Я. А. Автоматизация управления электрическим освещением. - М.: Энергоатомиздат, 1989. - 112 с.: ил. - (Экономия топлива и электроэнергии).