

Глава 12. Энергоаудит систем освещения

12.1. Общие сведения

Освещение потребляет от 5% до 15% от вырабатываемой электроэнергии. В этой связи, с целью ее экономного расходования, необходимо стремиться к применению светильников с высоким КПД, применять современные конструкции отражательной аппаратуры и рациональных схем освещения.

Фактическая освещенность E_{ϕ} , лк действующей осветительной установки определяется выражением

$$E_{\phi} = \frac{N \cdot n \cdot F_{\text{л}} \cdot \eta}{S}, \quad (12.1)$$

где N - количество светильников; n - число ламп в светильнике; $F_{\text{л}}$ - световой поток каждой лампы, лм; η - коэффициент использования светового потока; S - площадь помещения, м^2 .

При проведении энергоаудита системы освещения определяется фактическое количество светильников и ламп в них, их мощность. При этом учитывается высота помещения и специфика работы в нем.

Следует иметь в виду, что лампы накаливания создают видимое излучение мощностью не более 6% от потребляемой лампой электрической мощности, а газоразрядные -17% и более. Наибольший эффект экономии электроэнергии достигается при новом проектировании объектов. Замена же ламп накаливания на современные лампы, ввиду дороговизны последних, как отдельное мероприятие имеет большие сроки окупаемости. Поэтому замену целесообразно проводить либо при ремонтах, либо при реконструкциях зданий, или в виде плановой постепенной замены.

Одними из наиболее важных критериев являются освещенность объектов и световой поток лампы. Показатель освещенности (в зависимости от назначения помещения) является нормируемой величиной. Кроме того, вводятся нормируемые значения показателя дискомфорта (M), коэффициентов пульсации освещенности ($K_{\text{п}}\%$) и естественной освещенности (%). В таблице 12.1 приведены некоторые данные о нормативах освещенности для помещений различного назначения [1].

Таблица 12.1 – *Нормативные уровни освещенности*

Украина				ЕС		
Типы помещений	Освещенность, лк	Показатель дискомфорта не более %	Коэффициент пульсации освещенности не более %	Типы помещений	Освещенность, лк	Предельный показатель ослепленности
Рабочие комнаты, проектные кабинеты	300	40	15	Офисы: Общий -----	500 300- 500	19 19
Машинописные бюро	400	40	10	Конструкторское бюро		
Читальные залы	300	40	15	Общие помещения, чертежные доски	500 750	16 16
Лаборатории	300	40	10	Бухгалтерия и офисные площади	500	19
Фойе	150	90		Площади для посетителей	300	19
Вестибюли	150					

12.2. Некоторые критерии выбора источника света

При выборе источников света следует исходить из того, что наиболее экономичными и универсальными являются газоразрядные и люминесцентные лампы. Характеристика основных типов ламп приведена в таблицах 12.2 и 12.3.

Сравнивая газоразрядные лампы и лампы накаливания, следует иметь в виду, что газоразрядные лампы обладают падающей вольтамперной характеристикой. С увеличением тока лампы, напряжение на ней уменьшается. Поэтому газоразрядные лампы должны обязательно включаться с балластным сопротивлением, ограничивающим ток. Электрические балластные устройства потребляют значительно большее количество энергии, чем современные электронные высокочастотные. В таблице 12.4 приведен коэффициент потерь в пускорегулирующей аппаратуре.

Таблица 12.2 - Данные о мощности и световом потоке некоторых типов ламп

Лампы накаливания		Дуговые ртутные лампы (ДРЛ)		Люминесцентные лампы		
Мощность, Вт	Световой поток, лм	Мощность, Вт	Световой поток, лм	Тип ламп	Мощность, Вт	Световой поток, лм
15	105			ЛБ-15	15	630
25	205			ЛХБ-15	15	450-600
40	430			ЛД-15	15	450-600
75	950	80	2950	ЛДЦ-15-1	15	450-600
100	1380	125	5200	БЛ-20	20	980
150	1900	-		ЛХБ-20	20	620-900
200	1700	250	11000	ЛД-20	20	620-900
300	4500	400	18000	ЛДЦ-20-1	20	620-900
500	8100	-		ЛБ-30	30	1740
750	13100	700	35000	ЛХБ-30	30	1100-1500
1000	18200	1000	50000	ЛД-30	30	1100-1500
Лампы накаливания галогенные КГ 220- 1000-5		Лампы натриевые низкого давления Дна0140		ЛДЦ-30-1	30	1100-1500
				ЛБ-40	40	2480
				ЛХБ-40-	40	1500-2200
1000	22000	ЛД	9800	ЛД-40	40	1500-2200
		ЛДЦ		ЛДЦ-40-1	40	1500-2200
				ЛБ-65	65	3970
				ЛБ-80	80	4320
		400	4600	ЛХБ-80	80	2720-3840
		Лампы металлогалогенные ДРИ 400-10 ДРИ 1000-1		ЛД-80	80	2720-3840
				ЛДЦ-80-1	80	2720-3840
				ЛХБ-125	125	6200
		400	25200	ЛХБ-150	150	8000
		1000	80000	ЛХБ-200	200	10000
		Лампы ксеноновые ДК с Т 5000		ДБЖ-80	80	4320
				ДБЖ-110	110	6000
				ДБЖ-150	150	8000
		5000	98000	ЛТБ-20	20	1100

Таблица 12.3- Средняя освещенность E (лк) для ламп накаливания 220В

Мощность ламп, Вт	При прямом свете	При полусферическом свете
50	31	24
100	35	27
150	40	30
200	44	34
300	48	36
500	53	40
1000	60	46

Таблица 12.4– Коэффициент потерь в ПРА

№	Тип лампы	Тип ПРА	$K_{пра}$
1	ЛБ	Обычный электромагнитный	1,22
		Электромагнитный с пониженными потерями	1,14
		Электронный	1,1
2	КЛ	Обычный электромагнитный	1,27
		Электромагнитный с пониженными потерями	1,15
		Электронный	1,10
3	ДРЛ, ДРИ	Обычный электромагнитный	2,08
		Электронный	1,06
4	ДНаТ	Обычный электромагнитный	1,1
		Электронный	1,06

Например, для лампы ЛБ (двойной) 2*18 Вт потребление электроэнергии составит при:

- обычном балласте 54Вт
- электромагнитный с пониженным уровнем потерь 45Вт
- высокочастотный 40Вт

12.3. Определение потерь электроэнергии в системах освещения

На основании результатов энергообследования организации определяется фактическое годовое потребление активной энергии осветительными установками, кВт•ч:

$$W_{осв.г.ф} = \left(\sum_{l=1}^k \sum_{j=1}^N \sum_{i=1}^n P_{св.i} \cdot K_{n-p.a} \cdot T_{zi} \right) k_c, \quad (12.2)$$

где k - число зданий организации; N - число помещений в зданиях; n - число работающих светильников в i -м помещении; $P_{св.i}$ - установленная мощность ламп в светильниках, кВт; $K_{n-p.a}$ - коэффициент потерь в пускорегулирующей аппаратуре (по табл.12.4); T_{zi} - годовое число работы осветительных установок в i -м помещении; k_c - коэффициент спроса (для бюджетных организаций принимается $K_c=0,8$).

Фактическое годовое потребление сравнивается с нормативным годовым потреблением, которое определяется по следующим выражениям кВт•ч:

$$W_{осв.г}^н = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^N W_{ij}, \quad (12.3)$$

где W_{ij} - энергия, потребляемая j -й группой типовых помещений, кВт•ч;

$$W_i = \sum_i^n P_i \cdot T_{гi}, \quad (12.4)$$

где n - количество типовых помещений в группе; P_i - мощность осветительной установки i -го помещения, кВт,

$$P_i = P_{уд.i} \cdot A_i \cdot \frac{E_{нi}}{100}, \quad (12.5)$$

где $P_{уд.i}$ - удельная установленная мощность светильников i -го помещения при освещенности 100лк, Вт/м²; A_i - площадь i -го помещения, м²; $E_{нi}$ - нормируемая освещенность i -го помещения группы, лк.

Удельную установленную мощность $P_{уд.i}$ можно найти из таблицы 12.5, которая построена по данным нормативов для светильников с люминесцентными лампами.

Таблица 12.5– Значения удельной мощности освещения

№ п/п	Высота помещения, м	Площадь помещения, м ²	Значение удельной мощности общего освещения при освещенности 100 лк, Вт/м ²
1	2	3	4
1	<3	<15	6,0
		15-25	5,0
		25-50	4,5
		50-150	3,7
		150-300	3,3
2	3-4	15-20	7,4
		20-30	5,9
		30-50	4,8
		50-120	4,3
		120-300	3,7
3	4-6	25-35	7,4
		35-50	6,1
		50-80	4,7
		80-150	4,2
		150-300	3,6

Общие потери электроэнергии составляют, кВт•ч

$$P_i = P_{уд.i} \cdot A_i \cdot \frac{E_{нi}}{100} \quad (12.6)$$

где P - установленная мощность ламп накаливания, кВт; $T_{ос}$ - время работы освещения, согласно рекомендаций таблицы 9.7 ; k_c - коэффициент спроса осветительных нагрузок (табл. 12.6).

12.3.1. Основные причины перерасхода электроэнергии. Основными причинами, приводящими к неэффективному использованию электроэнергии, являются:

- использование ламп накаливания вместо люминесцентных ламп

(потери электроэнергии возрастают в 2,5-3 раза);

- включение источников света в дневное время из-за нарушения графика работы освещения приводит к дополнительному расходу энергии

$$\Delta E = P \cdot k_c \cdot t_{\text{ос.дн.}}, \quad (12.7)$$

где $T_{\text{ос.дн.}}$ - время включения освещения сверх графика;

– завышенная установленная мощность светильников также ведет к перерасходу электроэнергии

$$\Delta E = (P_{\text{факт}} - P_{\text{ном}}) \cdot k_c \cdot T_{\text{ос}}, \quad (12.8)$$

где $P_{\text{факт}}$ - фактическая установленная мощность светильников, кВт;
 $P_{\text{ном}}$ - расчетная мощность светильников, кВт;

- завышенная высота подвески светильников увеличивает потери в 1,5-2 раза;

- несвоевременная чистка светильников снижает освещенность на 15-20% и приводит к потерям 2,5-3,5% от общих затрат электроэнергии на освещение.

Ниже приводятся данные о вариантах установки светильников, подлежащих чистке:

a) помещения со значительным выделением пыли, дыма (металлургические цеха, кузнечно-прессовые, обогатительные фабрики, подготовительные цеха текстильного производства и т.д.)

b) помещения со средним выделением пыли и копоти (прокатные, механические, сборочные, металлоконструкций и т.д.)

c) помещения с незначительным выделением пыли (цеха легкой и пищевой промышленности, офисные помещения и т.д.)

d) установки наружного освещения.

Отметим также, от чего зависит перерасход электроэнергии на освещение

- Окраска стен и потолков в производственных помещениях в темные цвета приводит к перерасходу электроэнергии до 3%

- Применение автоматических систем включения-отключения освещения дает экономию электроэнергии до 3%

- Колебания напряжения приводят к перерасходу электроэнергии

Напряжение на выводах ламп не должно быть более 105% и ниже 85%. Снижение напряжения на 1% снижает световой поток для ламп накаливания на 3-4%, люминесцентных ламп на 1,5%, ДРЛ на 2,2%

Для исключения этих факторов, освещение выводится на отдельные трансформаторы, и применяют компенсирующие устройства, включаемые и отключаемые строго по суточному графику, а так же автоматическое регулирование напряжения. В таблицах 12.6 и 12.7 приведены рекоменду-

мые значения коэффициента спроса освещения и длительности освещения для предприятий.

Таблица 12.6 – Коэффициент спроса осветительной нагрузки

Наименование объекта	k_c
Мелкие производственные здания и торговые помещения	1,0
Производственные здания, состоящие из ряда отдельных помещений	0,95
Производственные здания, состоящие из отдельных крупных пролетов	0,95
Библиотеки, административные здания, предприятия общественного питания	0,9
Учебные, детские и лечебные учреждения, конторские, бытовые и лабораторные здания	0,8
Складские помещения, электроподстанции	0,6

Таблица 12.7 – Годовое число использования максимума осветительной нагрузки

Род осветительной нагрузки	Время освещения, часов T_{oc}
<i>Внутреннее освещение</i>	
Рабочее освещение (для местности с широтой 56 ⁰):	
При одной смене	250
При двух сменах	1850
При трех сменах	4000
Аварийное общее освещение	4800
<i>Наружное освещение</i>	
Рабочее освещение заводских территорий, включаемое ежедневно:	
На всю ночь	3600
До 1 ч	2450
До 24 ч	1750
То же, включаемое в рабочие дни:	
На всю ночь	3000
До 1 ч	2000
До 24 ч	1750
Охранное освещение, включаемое ежедневно на всю ночь	3500
Рабочее освещение территории поселка, включаемое ежедневно:	
На всю ночь	3500
До 1 ч	2350
До 24 ч	1950

Для определения числа часов использования максимума осветительной нагрузки в других широтах величину, указанную в табл. 3, следует умножить на поправочный коэффициент α , который определяется в зависимости от географической широты местности и числа смен. При одной смене $\alpha = 0,7 \div 1,4$, при двух и трех сменах $\alpha = 0,96 \div 1,05$.

12.4. Загрязнение светильников

Загрязнение светильников веществами, находящимися в воздухе производственных помещений (пылью, грязью, конденсатом паров и газов), приводит к резкому снижению их КПД и изменению формы кривой силы света.

В пыльных и грязных производствах наблюдаются случаи понижения освещенности в 8-10 раз. Поэтому постоянное поддержание светильников в надлежащей чистоте имеет огромное значение для рационального использования электроэнергии в электроосветительных установках.

Очистка ламп и светильников производится в сроки, определяемые лицом, ответственным за электрохозяйство, в зависимости от местных условий. В ПУЭ и ведомственных инструкциях имеются указания о рекомендуемой периодичности чистки светильников:

Таблица 12.8 – Сроки чистки светильников

Наименование помещений	Сроки чистки светильников
В помещениях со значительным выделением пыли, дыма и копоти: цеха: доменные, мартеновские, литейные, кузнечные, цементных заводов; подготовительные отделы текстильной фабрик; обогатительные фабрики и др.	2 раза в 1 месяц
В помещениях со средним выделением пыли, дыма и копоти: цеха: прокатные, механические, сборочные, металлоконструкций и др.	1 раз в 3 месяца
В помещениях с незначительным выделением пыли: цеха предприятий легкой и пищевой промышленности, административно-конторские помещения, лаборатории, конструкторские и проектные залы	1 раз в 3 месяца
Установки наружного освещения	1 раз в 4 месяца

Нарушение норм периодичности чистки светильников наносит крупный ущерб из-за резкого снижения освещенности производственных помещений. Приходится устанавливать лампы повышенной мощности, увеличивать число светильников, расходовать излишнее количество электроэнергии.

Пример 1.

Провести энергоаудит системы освещения предприятия.

Цель энергоаудита – рассчитать количественно (и в стоимостном выражении) затраты электроэнергии, используемой предприятием на внутреннее и наружное освещение. Оценить потенциал энергосбережения. Разработать мероприятия по снижению затрат на электроэнергию.

Исходные данные:

Предприятие использует во внутренних осветительных установках 600 люминесцентных ламп ЛДЦ 80-3/4, 200 ламп ЛХБ 40-3/4, 100 ламп ЛТБ 20-3/4 и 80 ламп НБ 220-100. Для освещения закрепленной территории используются 23 светильника с лампами ДРЛ-400. Наружные осветительные установки задействованы всю ночь. Режим работы предприятия – односменный.

Определение годового потребления энергии.

Для определения годового потребления электроэнергии осветительными установками предприятия работающего в одну смену необходимо определить:

1. Максимальную мощность (с учетом потерь в устройствах управления и сетях), кВт.

Расчетные выражения:

$$W_{\text{люминес. ламп.}} = 1,23 \cdot P_{\text{люминис. ламп}}$$

$$W_{\text{ДРЛ ламп.}} = 1,13 \cdot P_{\text{ДРЛ. лампы}}$$

$$W_{\text{лампы накаливания}} = 1,03 \cdot P_{\text{лампы накаливания}}$$

2. Коэффициент средней нагрузки (для режима регулируемой освещенности), а также техническое состояние ламп. Для наших условий $K = 0,6 - 0,8$
3. Годовое число использования осветительных установок
 - внутреннее освещение: 1 смена - 750ч, 2 смены - 1850 ч; 3 смены - 2150 ч;
 - наружное освещение на всю ночь -3600ч, до 1ч ночи – 2450, до 24ч – 1750ч;
 - аварийное общее освещение – 4800ч

Рассчитываем потребление энергии и заносим в таблицу.

Рекомендации по энергосбережению. При выборе энергоэффективного оборудования используют метод «лидирующего продукта», основанный на рекомендациях фирм продвигающих эффективную продукцию. Однако использование этого метода требует предварительного знакомства с предлагаемым оборудованием и его проверки.

Таблица 12.9 – Расчетные данные для определения затрат энергии

Наименование источника света	Номинальная мощность, кВт	Мощность с учетом потерь в ПРА и сети, кВт	Количество, шт.	Мощность ОУ, кВт	Коэффициент нагрузки	Время работы в год, ч	Годовое потребление электроэнергии, кВт
ЛДЦ-80	0,08	0,0984	600	59,04	0,7	750	30996
ЛХБ-40	0,04	0,0492	200	9,84	0,7	750	5166
ЛТБ-20	0,02	0,0246	100	2,46	0,7	750	1291,5
НБ-100	0,1	0,103	80	8,24	0,7	750	4326
ДРЛ-400	0,4	0,452	23	10,326	0,7	3600	26022
ВСЕГО			1003	89,906			65510

Например, основные показатели некоторых типов ламп:

- (КПД) - ЛН - 0,07, ЛЛ - 0,20.
- Светотехнические (световой поток, лм; светоотдача лм/Вт; спектральный состав; коэффициент пульсации) ЛН 100 Вт - 1380 лм. ЛЛ TLD 80 50 Вт – 5000лм.
- Электротехнические (номинальная мощность, номинальное напряжение лампы, номинальное напряжение сети).
- Эксплуатационные (срок службы, зависимость основных параметров от времени эксплуатации, напряжения сети и т.д.).
- Экономия энергии определяется по выражению:

$$\Delta \mathcal{E} = T(\alpha_n P_N - \alpha_n P_N).$$

Сравнительная техническая характеристика некоторых типов ламп

1. ЛН-7-19 лм/Вт; 1000ч; ГЛ-22 лм/Вт;
2. ЛЛ-75-80 лм/Вт. 1200-25000ч (10000ч); с электронным балластом 20% экономии и 15000 ч.; Компактная люминесцентная лампа PL/E 100 лм/Вт. (Лампы 26 мм имеют такой же световой поток, но потребляют на 8% меньше электроэнергии. Полупроводниковый балласт дает снижение потерь на 20%, отсутствие мерцания. Срок службы в 1,5 раза выше).
3. Дуговая ртутная люминесцентная 50-70 лм/Вт, 10000ч; Металлогалогенная ДРИ (иодидными добавками 70-95 лм/Вт 5000-10000, лучшие до 20000 ч); Натриевые высокого давления – ДнаТ/SON (дуговые натриевые трубчатые) 100-170 лм/Вт; ДКсТ 120-150 лм/Вт от 5 кВт до 2000 ч из-за 750-800⁰С на дуговой трубке (дуговая ксеноновая трубчатая); Натриевые низкого давления SOX 160-180, 200 лм/Вт.

ДРЛ 400 Вт, 23 клм на НЛВД 330 Вт, 27 клм (тот же ПРА и тот же светильник).

Светоотдача галогенных ламп в два, а люминесцентных в пять раз выше, чем ламп накаливания.

Табл.12.10 – Сравнительная характеристика рекомендуемых ламп

Тип лампы 80 Вт	Световой поток, лм	Световая отдача	
		Лм/Вт	%
ЛБ	5220	65,25	100
ЛХБ	4440	55,5	85
ЛТБ	4440	55,5	85
ЛД	4070	50,87	78
ЛДЦ	3560	44,5	68

Задача 1 (проверка внутренних осветительных установок)

Определите количество светильников с люминесцентными лампами, необходимых для освещения помещения для игр 15×7,5 м в дошкольном учебном заведении.

Задачу решите следующими методами:

а) Удельной установленной мощности. Типичные электрические нагрузки на единицу площади помещения (Вт/м²) при использовании ЛЛ в зданиях, необходимые для создания освещенности 500 лк:

Открытые ЛЛ 16-20 Вт/м²;

С опаловым отражателями 19-27 Вт;

С призматическими отражателями 17-23 Вт/м²;

С низкой интенсивностью 21-30 Вт/м²;

С высокочастотным балластом 13-16 Вт/м²;

Натриевые лампы высокого давления 21-26 Вт/м;

С лампами, содержащими пары металлов 22-29 Вт;

Применение галогенных ламп вдвое снижает потребление электроэнергии.

б) Методом прямых нормативов. Примерные нормы расхода электрической энергии на освещение люминесцентными лампами 25 Вт/м²;

в) Методом светового потока $N=NS/Fk$ исп. к1 к2 (0,7-0,8; старение и износ 0,8 загрязнение 0,65- 0,8).

Сравните результаты расчетов. Какие можно сделать выводы? Разработайте конкретные мероприятия, направленные на повышение энергетической эффективности освещения помещения.

Задача 2: оценка потребления.

Завод использует во внутренних осветительных установках 800 ламп ДРЛ-700, 600 ЛД 80-3/4, 200 ламп ЛХБ 40-3/4, 200 ламп НБ 220-100. Режим работы трехсменный.

Для освещения закрепленной территории используются 23 светильника с лампами ДРЛ-400 и 15 прожекторов ПЗС-45 с лампами Г-220-500. Наружные осветительные установки задействованы всю ночь.

1. Определите годовое потребление электроэнергии осветительными установками предприятия.

2. Сформулируйте общие рекомендации по снижению расхода электроэнергии осветительными установками предприятия (прием лидирующего продукта).

Задача 3: проверка осветительной установки. Определите количество двухламповых люминесцентных светильников с лампами 40 Вт, необходимых для освещения помещения для игр 20 x 12,5 м для создания в нем средней освещенности 400 лк.

Назовите технические решения, принятие которых при проектировании освещения могло бы существенно понизить потребление электроэнергии.

Задача 4: определение экономии энергии. Определите экономию электроэнергии от замены в цеху предприятия 200 ламп накаливания 500 Вт (8,3 клм) на ДРЛ 250 (12,5 клм).

Назовите трудности на пути такой реконструкции.

Как можно уменьшить расход электроэнергии осветительными установками, если в цеху были бы установлены лампы ДРЛ—250?

Задача 5: определение экономии затрат. Определите экономию годовых затрат на электроэнергию при переходе от круглосуточного освещения светильниками с 200 лампами накаливания по 100 Вт каждый на освещение 150 люминесцентными лампами по 80 Вт.

Как изменятся светотехнические характеристики системы освещения?

Задача 6: определение простого срока окупаемости проекта. Какие затраты будет нести предприятие при замене ламп накаливания 100 Вт на компактные люминесцентные лампы с интегрированной электронной ПРА? Каков срок окупаемости названного проекта при времени свечения ламп 8 часов в сутки и 250 рабочих суток в году?

Контрольные вопросы к главе 12

1. Что такое освещенность?
2. Назовите типы ламп и их характеристики.
3. Для чего нужна пускорегулирующая аппаратура?
4. От чего зависят нормативные уровни освещенности?
5. Какие лампы наиболее эффективны и критерии их выбора?
6. Как определить потери электроэнергии в системах освещения?

7. Какие основные причины перерасхода электроэнергии при организации освещения объектов?
8. Загрязнение светильников и его влияние на энергоэффективность.

Список литературы к главе 12

1. Справочная книга по светотехнике / под ред. Айзенберга Ю.Б.– М.: Энергоатомиздат. 1995.– 628 с.
2. Энергосбережение в зданиях. Нормы по теплозащите и тепловодоэлектроснабжению. НГСН 2.01-99.М.– 1999.