



## ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОСВЕЩЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПОМЕЩЕНИЙ

В данной работе проведен анализ уже существующих методов по снижению расходов электроэнергии в производственных помещениях и предложены перспективы модернизации системы освещения в промышленных отраслях с применением светодиодов и систем автоматического контроля, а также сделан расчет затраты на электроэнергию и окупаемости светодиодных источников света с экономической эффективностью.

Электроэнергия, светодиод, эффективное освещение, фотоэлемент, автоматическое управление.

Любая сфера жизнедеятельности не может нормально функционировать без организации освещения помещений, зданий и прочих сооружений. На первый взгляд может показаться, что электроэнергия, затрачиваемая на освещение, относительно других видов потребителей не является столь существенной, но в абсолютных значениях представляет собой весьма ощутимую величину. Более того, мировые тенденции таковы, что по мере развития производительных сил доля энергии, затрачиваемой на освещение, возрастает [1].

Известно, что естественное освещение в помещениях является наиболее благоприятным для человека как в физиологическом, так и в психологическом плане. Однако производственная деятельность человека не укладывается в рамки светового дня, а используемые источники света не настолько эффективны, чтобы заменить дневное освещение как по спектральному составу, так и по временной изменчивости. Кроме того, постоянный рост тарифов на электроэнергию заставляет искать пути снижения потребляемой энергии. Экономное электропотребление, удовлетворяющее интересы потребителей, может быть осуществлено применением энергосберегающих технологий и современных методов электропотребления. По-видимому, наиболее эффективным будет использование целого комплекса мер по оптимизации и повышению эффективности освещения, а именно – использование систем управления освещенностью, которые подразумевают:

- внедрение современного, более эффективного оборудования, обладающего улучшенными техническими характеристиками;
- разработку режимов работы электрооборудования, которые позволят снизить электропотребление и продлить срок службы осветительных приборов без вреда для потребителя;
- применение компактных программируемых устройств, использующих эффективные временные алгоритмы управления как в ручном, так и в автоматическом режимах работы;

- использование новейших устройств учета электропотребления и контроля технического состояния электрооборудования [1].

На основании всего вышеизложенного можно судить об актуальности исследования в данном направлении [2].

Основной целью данной статьи является анализ уже существующих методов по снижению энергозатрат, выявление их недостатков с намерением дальнейшего усовершенствования. Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- изучить особенности источников света;
- проанализировать систему управления фотоэлемента;
- рассмотреть схему автоматического управления на производстве.

На наш взгляд наиболее подходящими и нуждающимися объектами в плане модернизации систем освещения на сегодняшний день являются промышленные предприятия, где рабочий процесс может проходить круглосуточно, а доля затрат на промышленное освещение может составлять до 10% от всей потребляемой электроэнергии [2].

Схема основных видов производственного освещения представлена на рис. 1.

Все виды освещения, указанные на рис. 1, активно применяют в производственных зданиях. В помещениях с нехваткой естественного освещения используется освещение совмещенное. В помещениях, где по всей площади проводятся работы одного типа (сварочные, литейные и т.д.), применяют общее освещение. При выполнении зрительных работ высокой точности (фрезерных и т.д.) в местах, где оборудование располагается вертикально, образует резкие тени, в комбинации с общим используется местное освещение. Использование одного лишь местного освещения не допустимо, так как из-за образования резких теней возникает риск получения травмы [2].

На рис. 2 показана схема действия системы плавного регулирования освещения.



Рис. 1. Схема основных видов производственного освещения

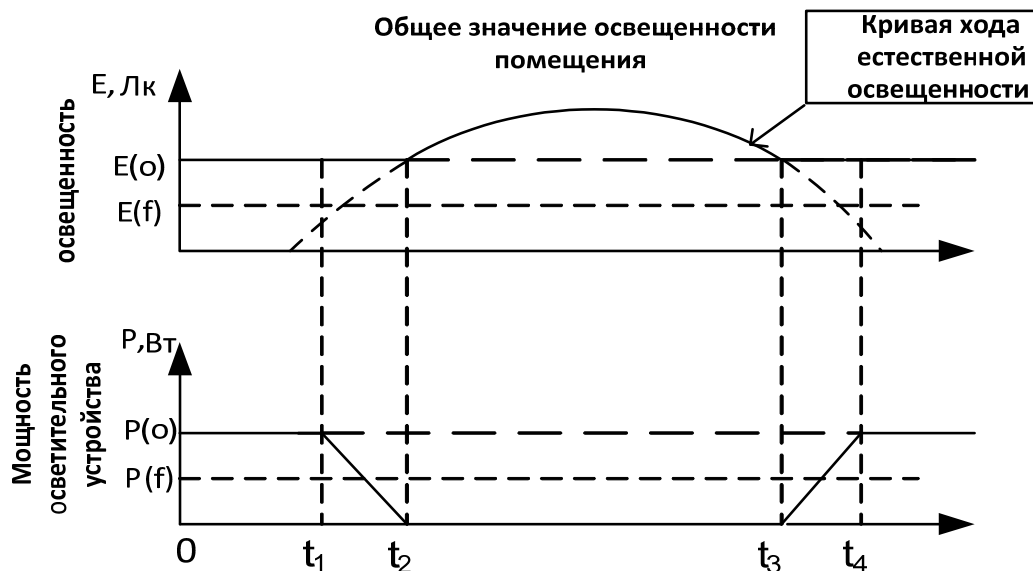


Рис. 2. Схема системы плавного регулирования освещения

Данная схема описывает режим работы системы освещения под управлением фотоэлемента:

$0-t_1$  – недостаток естественного света, уровень освещенности поддерживается в пределах установленной нормы за счет искусственного освещения;

$t_1-t_2$  – рост значения естественного света, плавное снижение мощности осветительной установки;

$t_2-t_3$  – нормы освещенности достигаются за счет одного лишь естественного света;

$t_3-t_4$  – происходит снижение уровня естественной освещенности при увеличении доли искусственного освещения.

На основании рис. 2 была выявлена возможность повышения экономической эффективности за счет регулировки мощности светодиодных источников освещения (диммирования). Этот метод позволяет отстраивать величину искусственного освещения в

зависимости от показателей естественной освещенности. Таким образом, мы имеем возможность увеличить срок службы ламп, уменьшить энергозатраты и поддерживать нормированный уровень освещенности.

Для поддержания заданного уровня искусственной освещенности в помещении подразумевается использование в системах управления фотоэлемента, располагающегося внутри помещения и контролирующего создаваемую осветительной установкой освещенность. Уже только одна эта функция обеспечивает экономию энергии за счет отсечки так называемого «излишка освещенности» [3].

Для достижения поставленной задачи необходимо применение ряда технических устройств, структурная схема которых показана на рис. 3.

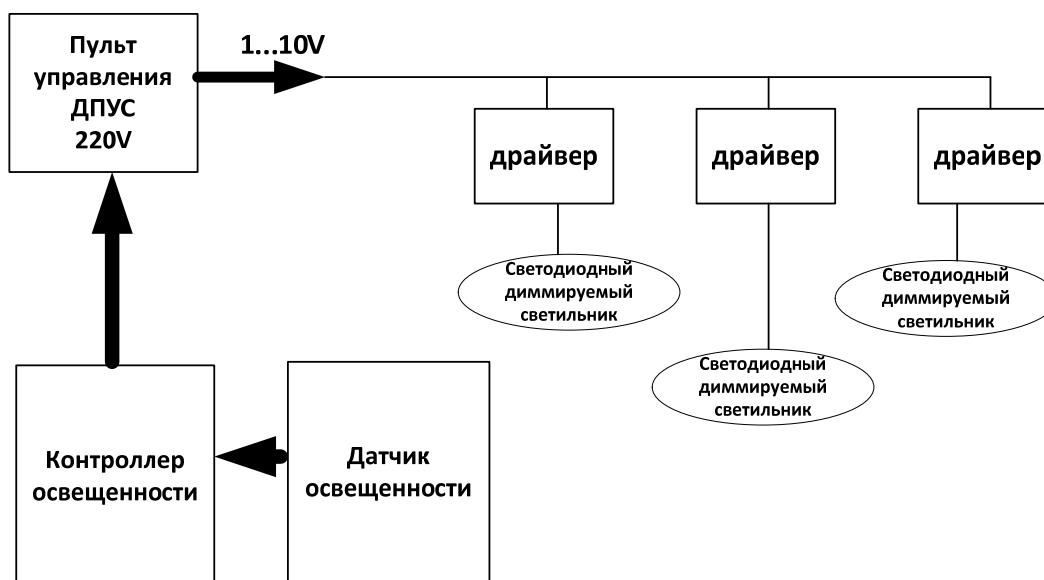


Рис. 3. Структурная схема автоматического управления

Функции схемы автоматического управления следующие:

- плавное изменение освещения в диапазоне от 1 до 100%;
- автоматическое поддержание режима освещённости на весь срок по заданной технологической программе;
- поддержание заданного уровня освещённости независимо от человеческого фактора и запыленности [4].

Выполняемые функции отдельно взятого элемента системы:

1. Драйвер управляемый – необходим для питания, защиты и регулирования светильников. В зависимости от конструкции к одному драйверу могут подключаться один или два светильника. Напряжение питания – 220V, напряжение управления – 1...10V.

2. Пульт управления ДПУС (дистанционный пульт управления светом) – используется для управления освещением в помещении. Позволяет использовать функции ручного и дистанционного управления.

3. Контроллер освещённости – предназначен для автоматического управления освещением в соответствии с технологической программой.

4. Светильник диммируемый – применяется для освещения помещений, имеет возможность изменения яркости [5].

Работа схемы автоматического управления, показанная на рис. 3, осуществляется следующим образом: датчик освещенности получает сведения об уровне освещения в помещении, далее подается сигнал на контроллер, который обрабатывает полученные данные и в зависимости от установленной программы выбирает необходимый режим. Опираясь на характер сигналов, полученных с контроллера, пульт формирует управляющие сигналы, посылаемые на драйвер. На драйвер приходит сразу два значения напряжения: силовой (220V) и управляющий от 1V до 10V. Силовое напряжение изменяется пропорционально значению управляющего напряжения. Световой поток излучаемой лампы прямо пропорционален ее выходному напряжению [5].

В настоящее время для нормирования уровня освещенности производственных помещений пользуются коэффициентом естественной освещенности (КЕО). Его величина зависит от характера выполняемой работы. Чем выше КЕО, тем выше должна быть освещенность. Для более точного расчета необходимого уровня освещенности в помещениях с нестандартными формами и разной высотой потолка целесообразно определить величину светового потока ( $\Phi$ ) для освещения конкретного помещения по следующей формуле:

$$\Phi = E \cdot S \cdot F, \quad [\text{Люмен (Лм)}] \quad (1)$$

где  $E$  – стандартно принятая норма освещенности в люксах (лк) согласно СНиП для конкретного помещения, значения которой приведены в таблице 1;  $S$  – площадь помещения ( $\text{м}^2$ );  $F$  – коэффициент соответствия, зависящий от высоты потолка помещений (до 2,7 м = 1; от 2,7 до 3 м = 1,2; от 3 до 3,5 = 1,5; от 3,5 до 5,5 = 2).

Таблица 1

**Норма освещенности согласно СНиП для различных офисных помещений**

№ п/п	Тип помещения офиса	Освещенность в лк
1	Большой площади свободной планировки	400
2	Общего назначения с использованием компьютерной техники	от 200 до 300
3	Для выполнения чертежных и графических работ	от 500 до 600
4	Лаборатории	от 400 до 600
5	Кабинеты	150
6	Конференц-залы, совещательные комнаты	200
7	Коридоры, холлы, фойе	от 50 до 150
8	Лестницы, эскалаторы	от 50 до 100
9	Архив	75
10	Бытовые и складские помещения, курительные	75
11	Раздевалки	75
12	Кладовые	50
13	Туалетные комнаты, душевые	от 75 до 50

Зная необходимую величину светового потока ( $\Phi$ ) можно определить количество необходимых светодиодных источников света. Световой поток каждой лампочки указан в ее технических характеристиках. Например, для освещения кабинета площадью в 20 м<sup>2</sup> и высотой потолков в 3 м понадобится световой поток ( $\Phi$ ):  $150 \cdot 20 \cdot 1.5 = 4500$  Лм. Для данного примера можно выбрать 4 лампочки мощностью в 12 Вт, величина светового потока которых равна 1200 Лм.

Расчёт времени окупаемости новых (светодиодных) и старых (люминесцентных или накаливания) элементов источника света проводится по следующей формуле:

$$t = (C_1 - C_2) / [(P_2 - P_1) \cdot R], \quad (2)$$

где  $t$  – время (час) окупаемости (работы);  $C_1, C_2$  – цена (в рублях) новых и старых источников света, соответственно;  $P_1, P_2$  – мощность в эквиваленте (в кВт) новых и старых источников света соответственно, данные приведены в таблице 2;  $R$  – тариф за электроэнергию (в рублях за кВт/час).

Как видно из формулы (2), чтобы быстрее самоопустились светодиодные источники света, необходимо следующее:

- высокий тариф электроэнергии;
- бóльшая разница между мощностями старых и новых источников света;
- меньшая разница между ценами старых и новых источников света.

Таблица 2

**Таблица эквивалентности мощностей разных световых источников**

Лампа накаливания, Вт	Люминесцентная, Вт	Светодиодная, Вт
15	3	1
35	7	3
50	11	5
70	15	7
90	19	9
120	25	12
150	31	15
180	36	18

Теперь проведем расчет затраты на электроэнергию ( $K$ , в рублях) источников света по следующей формуле:

$$K = N \cdot t \cdot G \cdot P \cdot T, \quad (3)$$

где  $N$  – количество источников света;  $t$  – количество работы часов в день;  $G$  – количество дней работы;

$P$  – потребляемая мощность одного источника света;  $T$  – стоимость электроэнергии за 1 кВт/час.

Используя таблицу 2 и формулу (3), можно рассчитать общие затраты на все виды источников света, в том числе экономию по годам.

### 1. По отношению к стандартному источнику света – лампе накаливания.

Рассмотрим 100 ламп накаливания по 70 Вт мощности каждая, стоимостью в среднем 10 рублей, всего  $100 \cdot 10 = 1000$  рублей. Общая потребляемая мощность электроэнергии всех ламп  $100 \cdot 70$  Вт = 7 кВт в час. Допустим, что в среднем они работают по 8 часов в день, значит расход электроэнергии составит 56 кВт в сутки. При стоимости 3,50 рублей за 1 кВт (данные по тарифам на электроэнергию в г. Вологде за 2018 г.), в год затрата на электроэнергию по (3):  $K = 71540$  рублей. Менять такие лампы придется 2–3 раза в год (срок службы около 1000 часов при работе 8 часов в сутки).

В качестве светодиодной лампы, способной заменить 70 Вт лампу накаливания (в соответствии с табл. 2), возьмем светодиодную лампу Geniled E27 A60 7W 4200K. Её цена в среднем 130 рублей, гарантия 3 года, срок службы более 40000 часов. Сто таких ламп обойдутся, соответственно, в 13000 рублей. Потребление каждой лампы 7 Вт. Итого при тех же условиях затраты на электроэнергию составят 0,7 кВт в час и 5,6 кВт в сутки. За год это составит (на основе (3):  $K = 7154$  рублей. А это практически в 10 раз меньше, чем потребляет стандартная лампа накаливания.

### 2. По отношению к люминесцентному источнику света.

В качестве люминесцентного источника света, способного заменить 70 Вт лампу накаливания (в соответствии с табл. 2), возьмем энергосберегающую люминесцентную лампу КЭЛР-FS E27 15Вт 4000K. Её цена в среднем 100 рублей, а гарантия 2 года. Сто таких ламп обойдутся, соответственно, в 10000 рублей, и потребление электроэнергии каждой лампы составит 15 Вт. Допустим так же, как и в предыдущих расчетах, что работают они по 8 часов в день, значит расход электроэнергии составит 12 кВт в сутки. За год составит на основе (3):  $K = 15330$  рублей. Менять такие лампы при оптимальных условиях придется раз в два года, так как срок службы таких ламп около 6000 часов при работе 8 часов в сутки.

Рассчитанные значения для всех трех источников света приведены в таблице 3.

Таблица 3

**Общие затраты по годам на всех трех видах источников света**

Период	Лампы накаливания	Люминесцентные лампы	Светодиодные лампы
В первый год	$K + (1+2) \cdot 1000$ (1 раз поставили, 2 раза поменяли) = $71540 + 3000 = 74540$ рублей	$K + 1 \cdot 10000$ (1 раз поставили) = $15330 + 10000 = 25330$ рублей	$K + 1 \cdot 13000$ (1 раз поставили) = $7154 + 13000 = 20154$ рублей
За 2 года	$74540 \cdot 2 = 149080$ рублей	$K + 25330 = 15330 + 25330 = 40660$ рублей	$K + 20154 = 7154 + 20154 = 27308$ рублей
За 3 года	$74540 \cdot 3 = 223620$ рублей	$(3 \cdot K) + (2 \cdot 10000) = 45990 + 20000 = 65990$ рублей	$K + 27308 = 7154 + 27308 = 34462$ рублей
За 5 лет	$74540 \cdot 5 = 372700$ рублей	$(5 \cdot K) + (2 \cdot 10000) = 76650 + 20000 = 96650$ рублей	$2 \cdot K + 34462 = 14308 + 34462 = 48770$ рублей
За 10 лет	$74540 \cdot 10 = 745400$ рублей	$(10 \cdot K) + (5 \cdot 10000) = 153300 + 50000 = 203300$ рублей	$5 \cdot K + 48770 = 35770 + 48770 = 84540$ рублей

### Выводы

1. Из таблицы 3 следует, что экономия при использовании светодиодных ламп по сравнению с лампами накаливания растет ежегодно. Например, за 3 года экономия составит 189158 рублей, за 5 лет – 323930 рублей, а за 10 лет – 660860 рублей. А если учесть, что тарифы на электричество растут с каждым годом, очевидно, что экономия будет только расти.

2. При сравнении люминесцентных и светодиодных ламп видно, что за 3 года использования затраты на них практически сравняются, а к 5-ти годам и дальше выгода использования светодиодных ламп с каждым годом также будет расти. Так, к 10 годам использования выгода составит 118760 рублей, т.е. практически в 2 раза.

3. В данной работе расчеты производились без учета замены стартеров, трансформаторов и расходов на специальную утилизацию и хранение сгоревших люминесцентных ламп, а также оплаты работы по их ремонту и замене. Если учитывать эти параметры, то эффективная экономия от использования светодиодных источников света будет колоссальная, так как светодиоды не боятся перепадов напряжения и короткого замыкания, им не нужны дроссели и стартеры.

4. Таким образом, в перспективе модернизация системы освещения в промышленных отраслях с

применением светодиодных источников света и систем автоматического контроля должна улучшить условия труда работников, снизить потребление электроэнергии и, вследствие этого, снизить себестоимость продукции.

### Литература

1. Афонасов, А. А. Методы построения средств безопасности в распределенных системах на основе интеллектуальных агентов / А. А. Афонасов // Труды Института проблем управления РАН. – Москва, 2001. – Т. 14. – С. 43–47.

2. Schoolelectrical [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://electricalschool.info/>.

3. Емельянов, А. Е. Повышение эффективности сетевых систем управления / А. Е. Емельянов // ФЭС: Финансы. Экономика. Стратегия. – 2010. – № 6. – С. 34–38.

4. Allbest.ru–публикация материала для обучения [электронный ресурс] – Режим доступа: <https://knowledge.allbest.ru/>.

5. Светодиодные системы освещения ИвелсиСветодиос [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.ivalsy.ru/>.

**M.F. Umarov, D.N. Shmakov**  
Vologda State University

### IMPROVING THE EFFICIENCY OF LIGHTING IN INDUSTRIAL PREMISES

This work gives the analysis of existing methods to reduce power consumption in production facilities and the prospects of modernization of lighting systems in industrial sectors with the use of LEDs and automatic control systems, as well as the calculation of energy costs and payback of led light sources with economic efficiency.

Electricity, led, efficient lighting, solar cell, automatic control.