

## **ЭКОНОМНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ ОСВЕТИТЕЛЬНЫМИ УСТАНОВКАМИ**

**А.Г. УС, В.Д. ЕЛКИН, В.В. БАХМУТСКАЯ**

*Учреждение образования «Гомельский государственный  
технический университет имени П.О. Сухого,  
Республика Беларусь*

Обеспечение экономного использования электрической энергии осветительными установками (ОУ) является одной из составляющих общей проблемы энергосбережения. Важность экономии электроэнергии в ОУ определяется еще и тем, что на электрическое освещение расходуется не менее 12 % от общего потребления электроэнергии в нашей стране, что составляет около 4 млрд квт·ч в год.

Пути и способы экономного использования электроэнергии ОУ должны рассматриваться как на стадии эксплуатации ОУ, так и при проектировании их.

Одновременно с комплексной оценкой эффективности освещения по критерию минимума приведенных затрат, учитывающих капитальные затраты и эксплуатационные расходы, необходимо также проводить оценку расхода электроэнергии, которая должна рассматриваться как самостоятельный показатель, регламентируемый конкретными объектами освещения и режимами их работы, применяемыми системами освещения и др. Существующие удельные осветительные нагрузки на единицу площади [1] не отвечают требованиям нынешнего уровня развития осветительной техники, они не учитывают применение современных источников света (ИС), осветительных приборов (ОП), систем освещения (СО) и т. д.

Наряду с существующими нормативно-правовыми материалами по проектированию ОУ, разработке такой регламентирующей системы могут в определенной степени способствовать результаты энергетического обследования предприятий, учреждений, организаций. Материалы обследования позволяют формировать базы данных по расходу электроэнергии цехами, производствами, предприятиями на цели освещения, разрабатывать мероприятия по экономии электроэнергии в ОУ и нормы расхода ее. В результате прогрессивные обоснованные нормы расхода электроэнергии на освещение будут являться не только исходной информацией для эффективного контроля за рациональным использованием электроэнергии ОУ, но и соответствующей информацией при проектировании ОУ.

Эффективный контроль за использованием электроэнергии ОУ предполагает, наряду с наличием нормативной базы расхода электроэнергии, иметь хорошо налаженный технический учет ее. Это, в свою очередь, определяет соответствующее схемное построение внутреннего электроснабжения, схем осветительной сети, необходимость и места установки приборов учета, обработку учетной информации по специальным программам для ЭВМ.

Наряду с решением вопросов экономного использования электроэнергии ОУ необходимо строго учитывать количественные и качественные требования к искусственному освещению, регламентированные СНБ 2.04.05-98 [2].

Экономия электроэнергии в ОУ не должна быть за счет снижения норм и качества освещения, отключения части осветительных приборов или отказа от использования искусственного освещения при недостаточном уровне естественного, т. к. это

приводит к ухудшению зрительной работы и психофизического состояния работающих, повышению травматизма, снижению производительности труда и качества выпускаемой продукции. Ущерб от ухудшения освещения может значительно превосходить стоимость сэкономленной электроэнергии.

С целью систематизации подхода к энергосбережению, охвата всех областей, объектов, факторов, формирующих электропотребление ОУ, чтобы в полном объеме разработать (наметить) мероприятия по экономии электроэнергии на освещение, предлагается анализ электропотребления ОУ выполнять по организационно-техническому и функциональным принципам.

Структурная схема, характеризующая электропотребление ОУ, построенная по организационно-техническому принципу, приведена на рис. 1.

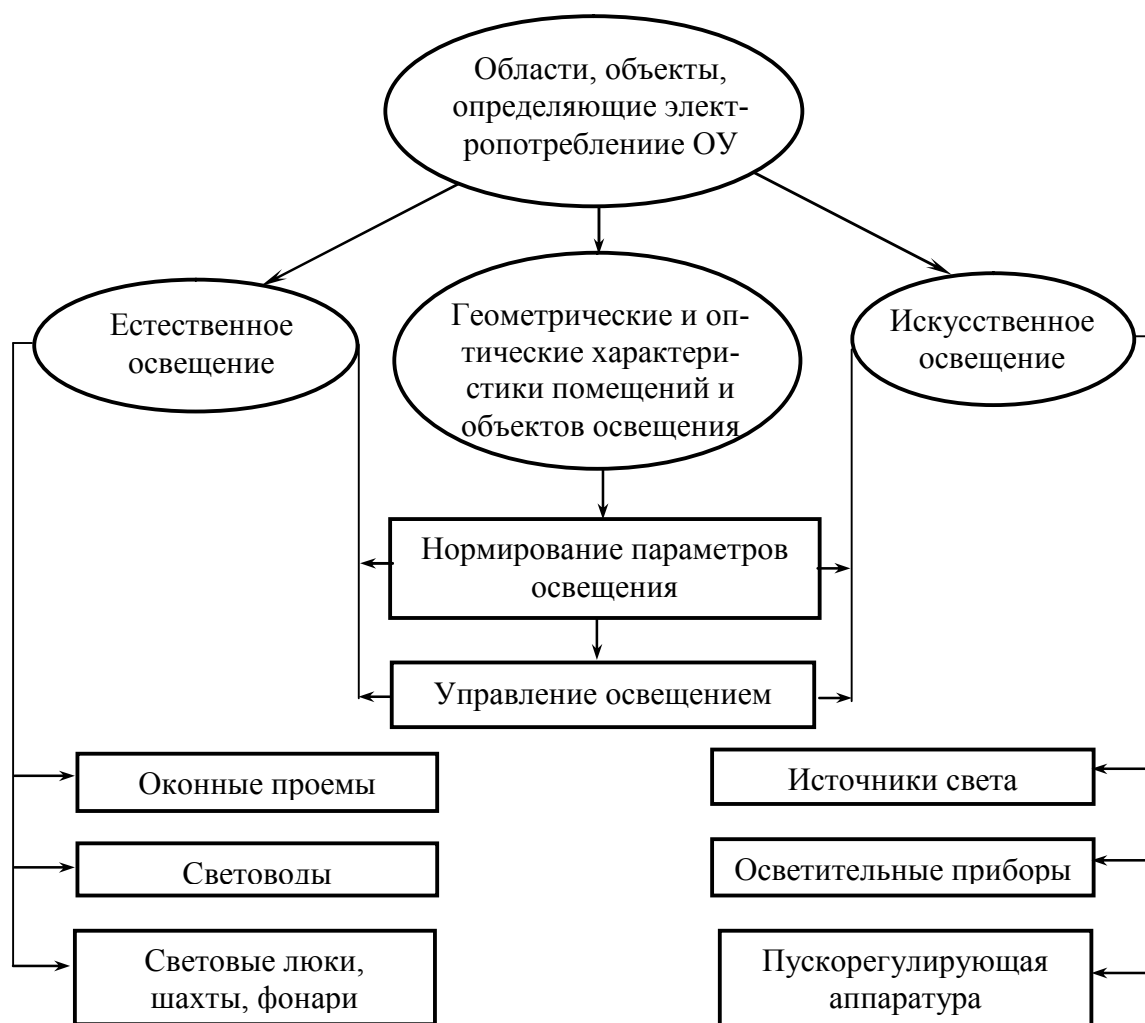


Рис. 1. Структурная схема, характеризующая электропотребление ОУ

Комплексное эффективное использование естественного и искусственного освещения, т. е. создание совмещенных систем освещения, но не на основе традиционных приемов остекления, которые приводят еще и к тепловым потерям, а с более совершенными устройствами – световодами, световыми люками, устройством шахт, фонарей при преимущественном заборе верхнего света, является одним из основных факторов, обеспечивающих экономное использование электроэнергии ОУ.

По функциональным признакам все факторы, определяющие расход электроэнергии на освещение, а, следовательно, и области возможной экономии, ее можно

условно классифицировать на следующие три группы: светотехнические, электрические и организационные, в т. ч. управление освещением.

Рассмотрим светотехнические факторы.

*Естественное (дневное) освещение.* Правильная организация естественного освещения может значительно сократить потребность в искусственном освещении. Сочетание хорошего естественного освещения и регулируемого искусственного освещения могут обеспечить общее сбережение на ОУ на уровне 30...70 %.

*Система освещения.* Комбинированная система освещения, при которой совместно с общим применяется и местное освещение, в зависимости от разряда зрительной работы и плотности расположения рабочих мест ( $\text{м}^2/\text{раб.}$ ), может обеспечить экономию электроэнергии до 60 % [3]. При проектировании или реконструкции ОУ необходимо оценивать возможность применения общей локализованной системы освещения.

*Уровень освещенности.* Уровень нормируемой минимальной освещенности регламентируются строительными нормами РБ – «СНБ 2.04.05-98. Естественное и искусственное освещение» [3] и определяются физиологическими требованиями зрения человека, развитием осветительной техники и уровнем энерговооруженности страны. Следует отметить, что средневропейские уровни освещенности помещений на 100...200 лк выше, чем нормы, установленные СНБ.

*Световая отдача источников света (ИС),* определяющая их экономичность. В табл. 1 приведены предельные значения величин световой отдачи существующих ИС.

Таблица 1

**Предельные значения величин световой отдачи источников света, лм/Вт**

ЛН	КГ	ЛЛ	КЛЛ	ДРЛ	ДРИ	ДНаТ	ДКсТ
8...20	15...28	35...80	40...90	40...60	35...100	80...140	20...45

*Примечание:* ЛН – лампы накаливания; КГ – галогенные лампы накаливания; ЛЛ – люминесцентные лампы низкого давления; КЛЛ – компактные люминесцентные лампы; ДРЛ – ртутные лампы высокого давления; ДРИ – металлогалогенные лампы высокого давления; ДНаТ – натриевые лампы высокого давления; ДКсТ – ксеноновые лампы.

Чем выше световая отдача ИС, тем меньшая его мощность необходима для обеспечения требуемого светового потока  $\Phi$  (освещенности –  $E_{\min}$ ). При переходе от ЛН к газоразрядным лампам (ГЛН) расход электроэнергии на освещение снижается в 4...8 раз.

*Коэффициент использования светового потока  $\eta$ ,* а также количество источников света (светильников) –  $n$  являются активными параметрами, определяющими мощность источника света в соответствии с методом коэффициента использования светового потока:

$$\Phi = \frac{E_{\min} k_3 \cdot S \cdot Z}{n \cdot \eta} \quad (1)$$

Коэффициент использования светового потока можно представить в виде:

$$\eta = \eta_c \cdot \eta_n, \quad (2)$$

где  $\eta_c$  – КПД светильника, о. е.;  $\eta_n$  – КПД помещения, о. е.

Чем выше  $\eta$ , тем меньшей мощности необходим ИС.

*Коэффициент полезного действия светильника* ( $\eta_c$ ), представляющий собой отношение светового потока светильника к полному световому потоку источника (источников) света светильника.  $\eta_c$  определяется его конструктивным исполнением, материалами отражателей и рассеивателей.

*Коэффициент полезного действия помещения* или унифицированное значение коэффициента использования помещения ( $\eta_{\text{п}}$ ).  $\eta_{\text{п}}$  определяется коэффициентами отражения ( $\rho_{\text{п}}$  – потолка,  $\rho_{\text{с}}$  – стен,  $\rho_{\text{р}}$  – рабочей поверхности), типовыми кривыми силы света светильников (КСС) и индексом помещения ( $i$ ):

$$i = \frac{A \cdot B}{H_{\text{р}}(A + B)}, \quad (3)$$

где  $A, B$  – соответственно длина и ширина помещения, м;  $H_{\text{р}}$  – высота подвеса светильников над расчетной плоскостью, м.

Для одного значения индекса помещения  $\eta_{\text{п}}$ , в зависимости от КСС, может различаться максимально в 4 раза, в большинстве до 1,5...2 раз. Чем выше отражающие коэффициенты  $\rho_{\text{п}}, \rho_{\text{с}}, \rho_{\text{р}}$ , тем выше коэффициент использования светового потока.

Таким образом,  $\eta$  для обеспечения минимального потребления электроэнергии на освещение обуславливает необходимость иметь «светлое» помещение, выбор типа светильников с соответствующими КСС, наивысшим  $\eta_c$ , минимальной высотой подвеса светильников ( $H_{\text{р}}$ ).

*Размещение светильников.* Размещение светильников определяется высотой подвеса их и расположением светильников на плане (генплане) освещаемого объекта.

Высота подвеса светильников в значительной степени обуславливает выбор мощности ИС, а, следовательно, определяет и величину расхода электроэнергии на освещение. Об этом свидетельствует то, что величина освещенности поверхности обратно пропорциональна квадрату расстояния до ИС:

$$E = \frac{I \cos \alpha}{R^2} = \frac{\Phi \cos \alpha}{\omega R^2}, \quad (4)$$

а при  $\alpha = 0$  выражение принимает вид:

$$E = \frac{\Phi}{\omega H_{\text{р}}^2} = \frac{I}{H_{\text{р}}^2}. \quad (5)$$

Следует одновременно отметить, что в связи с тем, что ряд показателей ОУ регламентируется нормами искусственного освещения, высота подвеса светильников должна приниматься одновременно с решением других задач проектирования – выбора ИС, светильников, систем обслуживания и др., а также и то, что при выборе высоты подвеса учитываются строительные особенности помещений – наличие ферм, технологических мостиков, размеры строительного модуля; одновременно рассматриваются способы прокладки и монтажа проводов и кабелей осветительной сети.

Расположение светильников с точки зрения минимальных затрат на электроэнергию должно осуществляться по критерию энергетической экономичности ( $\mathcal{E}_3$ ), под которой понимается отношение нормируемой (минимальной) освещенности ( $E_{\text{min}}$ ) к удельной осветительной нагрузке ( $\rho_{\text{уд}}$ ):

$$\Theta_9 = \frac{E_{\min}}{\rho_{уд}}. \quad (6)$$

Рост энергетической экономичности в соответствии с выражением (6) является следствием уменьшения удельной осветительной нагрузки, необходимой для создания заданной освещенности.

Для каждого типа светильников (типовой КСС) существует наивыгоднейшее относительное расстояние между светильниками  $\left(\frac{L}{H_p}\right)_{эз}$ , при котором обеспечивается максимальная энергетическая экономичность, где  $L$  – это расстояние между светильниками.

В производственных помещениях с типовыми строительными модулями, светильники размещаются обычно на фермах в виде продольных рядов. В этих случаях, чтобы не было перерасхода электроэнергии на освещение, рекомендуется применение так называемых неравномерных схем размещения светильников [3]. Такие неравномерные схемы размещения светильников уменьшают неравномерность освещения, а, следовательно, и расход электроэнергии.

Остановимся на электрических факторах.

*Рациональное построение осветительной сети.* Должна быть обеспечена минимальная протяженность электрической сети, без обратных потоков электроэнергии или с минимумом их. При разработке схемы необходимо учитывать: возможность эффективного управления ОУ, организацию технического учета расхода электроэнергии на освещение.

*Потери в пускорегулирующем аппарате (ПРА)* могут составлять, в зависимости от типа его, от 5 до 30 % потребляемой мощности (энергии). В табл. 2 приведены средние значения коэффициентов потерь в ПРА.

Таблица 2

Значения коэффициентов потерь в ПРА

Источник света	Тип ПРА	Коэффициент потерь в ПРА
ЛЛ	Электромагнитный	1,22
	Электромагнитный с пониженными потерями	1,14
	Электронный	1,1
КЛЛ	Электромагнитный	1,27
	Электромагнитный с пониженными потерями	1,15
	Электронный	1,1
ДРЛ, ДРН	Электромагнитный	1,08
	Электронный	1,06
ДНаТ	Электромагнитный	1,1
	Электронный	1,06

Использование электронных ПРА вместо традиционных электромагнитных (стартерных, дроссельных или с накальным трансформатором) позволяет снизить потребляемую мощность на 5...15 %.

*Регулирование напряжения питания осветительных установок.* В табл. 3 приведены зависимости основных параметров ИС от напряжения питающей сети.

Эти зависимости получены в пределах нормально допустимых значений установившегося отклонения напряжения на выводах осветительных приемников  $\pm 5\%$ .

Следует отметить, что периодический выборочный контроль освещенности на рабочих местах должен также производиться, когда отклонение напряжения в сети не превышает  $\pm 5\%$ . С точки зрения экономии электроэнергии выгодно напряжение на выводах осветительных приборах иметь ближе к минимально допустимому уровню (95%) при отсутствии регулирования напряжения по критерию необходимой освещенности. Однако следует помнить, что при этом увеличиваются потери электроэнергии в самих осветительных сетях.

Таблица 3

Зависимость основных параметров ИС от напряжения питающей сети

Соотношения	Значения $n$ для ИС					
	ЛН	ЛЛ с ЭМПРА	ДРЛ	ДРН	ДНаТ	ДКсТ
$\frac{c}{c_n} = \left(\frac{U}{U_n}\right)^n$	1,6	1,9	2	2,2	2,4	3,5
$\frac{\Phi}{\Phi_n} = \left(\frac{U}{U_n}\right)^n$	2,6...3,6	1,5	2,5	2,5	2,7	3,5
$\frac{\Phi_p}{\Phi_{pn}} = \left(\frac{U}{U_n}\right)^n$	2	-0,42	0,5	0,3	0,3	-

*Примечание:*  $U_n, U$  – номинальное и фактическое значения напряжения, соответственно, В;  $\rho_n, \rho$  – номинальная и фактическая мощность источника света, соответственно, Вт;  $\Phi_n, \Phi$  – световой поток ИС при номинальном и фактическом уровнях напряжения, соответственно, лм;  $\Phi_{pn}, \Phi_p$  – световая отдача ИС при номинальном и фактическом уровнях напряжения, соответственно, лм/Вт.

Величина рационального напряжения в пределах допустимых значений отклонения напряжения  $\pm 5\%$  будет определяться конкретными данными, типом и мощностью источников света, протяженностью осветительной сети.

Современные системы регулирования освещения, учитывающие изменение напряжения в осветительной сети, а также освещенность от естественного освещения позволяют снизить энергопотребление в системе искусственного освещения до 30 и более процентов.

*Компенсация реактивной мощности.* Предполагается применение групповой компенсации реактивной мощности при применении осветительных приборов с газоразрядными лампами высокого давления без индивидуальной компенсации. Светильники с газоразрядными лампами низкого давления, как правило, выпускаются с индивидуальной компенсацией реактивной мощности.

Следующие факторы – организационные.

*Более полное использование естественного освещения* путем переноса начала и окончания смен, рабочего дня, сезонного перехода на «летнее», «зимнее» время.

*Способы и технические средства управления освещением.* Предполагается применение автоматического управления: а) непрерывное плавное управление световым потоком светильников, а, следовательно, и мощностью ИС в зависимости от распре-

деления естественной освещенности (позволяет экономить до 40 % расходуемой электроэнергии); б) контроль уровня освещенности и автоматическое включение и отключение системы освещения по заданным значениям минимальной и максимальной освещенности (экономия электроэнергии может составлять до 15 %); в) зонное управление освещенности в зависимости от времени и (или) естественной освещенности (экономия электроэнергии – до 25 %).

*Применение выключателей, в основном для мест общего пользования, с автоматической задержкой времени на отключение.*

*Стимулирование работников за экономное использование электрической энергии ОУ, осознание того, что экономия электроэнергии на освещение является одной из составляющих важнейшей проблемы энергетики – энергосбережения.*

Современный уровень развития осветительной техники позволяет в настоящее время применять различные источники света.

*Для освещения производственных помещений* – светильники с лампами высокого и низкого давления с электронными пускорегулирующими аппаратами (ЭПРА), имеющими значительно меньшие потери мощности, высокий коэффициент мощности. Как вариант, использовать ЭПРА с регулированием светового потока.

*В общественных зданиях* – светильники с разрядными люминесцентными лампами мощностью 18 и 36 Вт, например, типа «Рубин» – 2×18, 4×18, 2×36, 4×36. Этот тип светильников имеет зеркальные отражатели из шлифованного алюминия, которые эффективно распределяют световой поток ламп в помещении, создают комфортные условия.

*В жилых зданиях* – компактные люминесцентные лампы с цоколем E27 мощностью 4, 7, 9, 11, 13, 18 Вт, позволяющие полную замену ламп накаливания. Широкий выбор электробытовых осветительных приборов выпускает БелОМО (г. Минск) с компактными галогенными лампами, имеющими интенсивный световой поток, что позволяет снизить электропотребление в 2...2,5 раза.

*В жилищно-коммунальном хозяйстве* затрачиваемую электроэнергию на освещение мест общего пользования жилищного фонда можно уменьшить

а) за счет реконструкции освещения подъездов и лестничных площадок.

Для этих целей могут быть применены антивандальные светильники серии ЛПБ 31-11-006 с компактной люминесцентной лампой КЛ-11 мощностью 11 Вт (корпорация «МАКСКОМ», г. Минск; «КРЭЗИСЕРВИЗ», представительство г. Гомель) вместо существующих светильников ПСХ-60 с лампами накаливания мощностью 60 Вт. Предлагаемая замена не снижает освещенность подъездов и лестничных площадок.

Сравнительные технические данные ламп накаливания и компактных люминесцентных ламп приведены в табл. 4.

Расчет экономии электроэнергии при замене светильника с лампой накаливания мощностью 60 Вт на светильник с компактной лампой мощностью 11 Вт показан в табл. 4.

Таблица 4

## Сравнительные данные ламп накаливания и компактных люминесцентных ламп

Тип ламп	Мощность, Вт	Световой поток, лм	Срок службы, час	Тип цоколя
БК 215-225	60	800	800–1000	E27
КЛ-11	11	900	8000	G23

Расход электроэнергии светильника с лампой накаливания составит:

$$\mathcal{E}_1 = P_{\text{уст}} \cdot K_c \cdot T_p,$$

где  $P_{\text{уст}}$  – установленная мощность освещения, кВт;  $K_c$  – коэффициент спроса;  $T_p$  – время работы освещения, 20 час в сутки или 7300 час в год.

$$\mathcal{E}_1 = 0,06 \cdot 0,9 \cdot 7300 = 394,2 \text{ кВт} \cdot \text{ч}.$$

В тоннах условного топлива –  $0,3942 \cdot K_{\text{топл}} = 0,3942 \cdot 0,28 = 0,110 \text{ т у. т.}$ ,

где  $K_{\text{топл}}$  – коэффициент пересчета электроэнергии в условное топливо равный 0,28 кг у.т/ кВт·ч.

$$\mathcal{E}_2 = 0,011 \cdot 0,9 \cdot 7300 = 72,3 \text{ кВт} \cdot \text{ч}.$$

В тоннах условного топлива –  $0,0723 \cdot 0,28 = 0,020 \text{ т у. т.}$

При замене одного светильника подъезда экономия составит:

$$\Delta \mathcal{E} = \mathcal{E}_1 - \mathcal{E}_2.$$

$$\Delta \mathcal{E} = 0,110 - 0,20 = 0,09 \text{ т у. т.}$$

В денежном выражении –  $0,09 \times 60 = 5,4 \text{ у. е.}$

Затраты на приобретение светильника – 12 у. е.

Срок окупаемости составит:

$$C_{\text{осе}} = K_{\text{осе}} / \Delta \mathcal{E} = 12 / 5,4 = 2,2 \text{ года};$$

б) путем применения автоматов для поддержания включенным освещение лестничных площадок, коридора в течение заданного времени (в диапазоне от 0,5 мин до 10 мин), по истечении которого освещение автоматически отключается. Широкий выбор лестничных автоматов предлагает совместное белорусско-польское предприятие «ЕВРОАВТОМАТИКА» (г. Лида).

Для наружного освещения территории предприятий, организаций, а также уличного освещения – разрядные лампы высокого давления типа ДНаТ с электронными пускорегулирующими аппаратами, имеющие световую отдачу значительно выше ламп ДРЛ, ДРИ, минимальными потерями в ПРА и коэффициентом мощности не ниже 0,95 (ОАО «ЭНЕФ», г. Молодечно).

Перспективным в развитии осветительной техники является разработка и применение светоизлучающих диодов (СИД).

### Выводы

1. Экономное использование электроэнергии осветительными установками обуславливает необходимость системного и комплексного подхода к решению данной проблемы с учетом совместного рассмотрения вопросов проектирования и эксплуатации осветительных установок.

2. Необходимо обновление нормативно-справочной информации для проектирования осветительных установок на основании достижений осветительной техники, результатов энергетического обследования осветительных установок.

3. Комплексное эффективное использование естественного и искусственного освещения на базе совмещенных систем освещения является одним из важнейших факторов, обеспечивающих экономное использование электроэнергии осветительными установками.



4. В общем случае все факторы, определяющие расход электроэнергии на освещение, можно классифицировать на: светотехнические, электрические, организационные. Анализ этих факторов для конкретной осветительной установки позволит в полной мере наметить мероприятия по экономии электроэнергии в ОУ.

### **Литература**

1. Кнорринг Г. М. Справочная книга для проектирования электрического освещения / Г. М. Кнорринг, И. М. Фадин, В. Н. Сидоров. – СПб. : Энергоатомиздат, 1992. – 448 с.
2. СНБ 2.04.05-98. Естественное и искусственное освещение. – Мн. : Министерство архитектуры и строительства, 1998. – 59 с.
3. Инструкция по рациональному использованию электроэнергии и снижению затрат в промышленных осветительных установках (внутреннее освещение) // Светотехника. – 1981. – № 5.

*Получено 08.09.2005 г.*