

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫЕ АЛГОРИТМЫ УПРАВЛЕНИЯ СИСТЕМАМИ ОСВЕТИТЕЛЬНОЙ НАГРУЗКИ

В.Н. Крысанов, К.С. Гамбург, А.Л. Руцков

В статье рассматриваются вопросы применения энергоэффективных алгоритмов управления осветительной нагрузкой. Проводится сравнительный анализ различных типов систем управления, применяемых для данного типа нагрузок. С помощью математических моделей определяются показатели энергоэффективности систем управления осветительной нагрузкой на базе нейро–нечётких алгоритмов в сравнении с типовыми вариантами

Ключевые слова: осветительная нагрузка, энергоэффективные алгоритмы, нейро–нечёткие сети

В соответствии с Федеральным Законом № 261 «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» [1], в настоящее время проводится большая работа по снижению потерь расходуемых энергоресурсов. Зачастую, для ряда предприятий, основным типом потребителем энергии является осветительная нагрузка (ОН). Особенно остро это проявляется в административных, здравоохранительных, учебных, научно – производственных объектах, где до 80 – 90% всего энергопотребления приходится на ОН.

Существующие системы управления (СУ) ОН недостаточно эффективны. В подавляющем большинстве случаев (около 85 %) управление коммутацией ОН производится в ручном режиме, без использования для этих целей автоматики. При этом не учитываются внешние факторы и особенности конкретных производственных помещений (естественный световой поток, наличие людей в помещении). По этой причине ОН в таких системах значительную часть времени работает в режиме, далеком от оптимального. Функционирование СУ ОН в ручном режиме с соблюдением норм освещённости и оптимизацией энергозатрат представляется маловероятным и неэффективным, о чём свидетельствуют практические исследования данного вопроса [2].

При анализе и сравнении эффективности применения систем ручного и автоматического управления ОН обнаруживается, что для объектов средней (свыше 1000 м.кв.) и большой

(свыше 5000 м.кв.) площади, потребление энергии в первом случае превышает на 20–30% [2] аналогичный показатель для второго варианта, что объяснимо дополнительным учётом естественный световой потока, наличия людей в помещении.

В качестве базового варианта решения вопроса энергосбережения посредством применения систем автоматического управления ОН часто используется система, структурная схема которой представлена на рис.1[3].

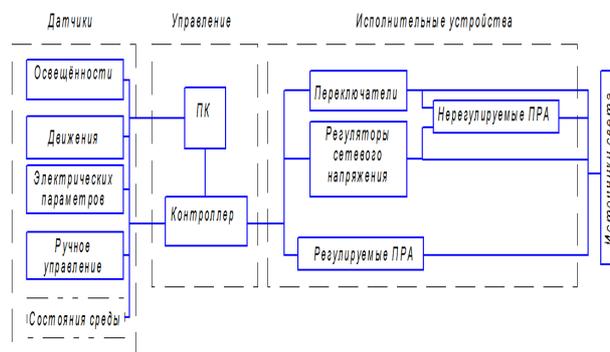


Рис. 1. Структурная схема автоматической СУ ОН

В качестве источников информации для задания режима работы СУ освещения и состояния окружающей среды используются различные датчики. Вся информация с них, а также с регулируемой и нерегулируемой пуско – регулировочной аппаратуры (ПРА) поступает на микроконтроллер, а в ряде случаев, и на более высокий уровень управления ПК, где в соответствии с заранее заданными уставками организовано регулирование ОН.

Несмотря на возможность снижения потерь электроэнергии на величину 20 – 30% при использовании базового варианта (рис.1 без учёта датчика состояния среды) решения вопроса оптимизации ОН (в сравнении с ручным управлением), он имеет ряд недостатков:

Крысанов Валерий Николаевич - ВГТУ, канд. техн. наук, доцент, тел. 8–920–228–56–06, e-mail: sovteh2000@mail.ru
Гамбург Клавдия Семёновна – СТИ НИТУ МИСиС, канд. пед. наук, доцент, тел. 8 – 951 – 550 – 73 – 30
Руцков Алексей Леонидович - ВГТУ, студент, тел. 8–952–540–98–89, e-mail: alex_8_90@mail.ru

- при использовании фотореле и автоматов включения ОН, их необходимо перестраивать под конкретные условия, а с изменением естественной освещённости в течении года (делать это приходится достаточно часто);

- частое изменение уставок ОН требует дополнительных затрат;

- невозможно комплексно учитывать факторы распределённых объектов инфраструктуры (учёт состояния загрязнённости среды, графика производственного задания), что в свою очередь даёт возможность дополнительной оптимизации процесса управления ОН.

Стоит отметить, что последний из недостатков наиболее наглядно проявляется в сложноорганизованных объектах с достаточно гибкой производственной структурой: КБ, учебные, административные и медицинские учреждения и т.д.

Для увеличения энергоэффективности СУ ОН в последнее время активно используются системы на базе нечётких и нейро нечётких алгоритмов. При этом затраты на группы датчиков и управляющую аппаратуру возрастает на 5-10%. Структурная схема таких систем представлена на рис.1. Основное их отличие от рассмотренного ранее базового варианта (несмотря на схожесть структурных схем) заключается, главным образом, в различных алгоритмах, заложенных в блоках управления. Следует учитывать тот факт, что общее число датчиков в случае применения нейро нечётких СУ ОН остаётся сопоставимым с их числом для базового варианта, но при этом происходит дополнение системы новыми типами регистрирующих элементов (к примеру – датчик состояния загрязнённости среды на рис.1).

Тогда задача управления ОН рассматривается как зависимость, связывающая входные (естественная освещённость, уровень движения, состояние среды) и выходные (уровень искусственного освещения, потребляемая мощность) переменные в форме “чёрного ящика”. При этом, определение данной зависимости в явном виде сопряжено с рядом проблем: недостаток от неполноты информации, сложность учёта многообразия факторов, оказывающих влияние на характер данной зависимости.

По мнению авторов, для решения подобных задач наиболее перспективны нейро нечёткие сети (ННС) [4]. С одной стороны, они позволяют разрабатывать модели систем в форме правил нечётких продукций, которые обладают

наглядностью и простотой содержательной интерпретации. С другой стороны, для построения правил нечётких продукций используются методы нейронных сетей, что является более удобным и менее трудоёмким для разработчиков.

СУ на базе ННС для ОН могут решать задачи базового варианта и дополнительно повышать энергоэффективность вышеописанных систем за счёт составления моделей сложных систем.

Ниже будут проведены качественные и количественные оценки приведённых выше способов СУ ОН типовых объектов. Примем следующие допущения:

– исследуемые объекты имеют три типа помещений в соответствии с классификацией по СНиП 23–05–95 (данные по требованиям освещённости и площади сведены в табл.1);

– расчёт требуемой мощности ОН и, как следствие, расхода электроэнергии определим в соответствии с методом отыскания коэффициента использования [2].

Таблица 1

Данные по типам и площади помещений

Тип	Площадь, м.кв.	Требования по освещённости (СНиП 23–05–95), лк
А (III–высокой точности)	3343	300 – 500
В (IV–средней точности)	4686	200 – 300
С (VIII – периодическое пребывание людей)	4171	50

Тогда:

$$P_n = P_0 \cdot \frac{E_n \cdot A_{p.n.}}{\Phi_{оп}} \quad (1),$$

где P_n – мощность осветительной нагрузки n–го типа помещений (Втч); $\Phi_{оп}$ – поток, создаваемый единичным источником (кд); P_0 – мощность единичного источника (Втч); E_n – максимально требуемая освещённость рабочей площади (кд/м.кв.); $A_{p.n.}$ – площадь помещений n–го типа (м.кв.).

Тогда:

$$P_A = 36 \cdot \frac{500 \cdot 3343}{2300} = 26162 \text{ [Втч];}$$

$$P_B = 36 \cdot \frac{300 \cdot 4686}{2300} = 22000 \text{ [Втч];}$$

$$P_C = 36 \cdot \frac{50 \cdot 4171}{2300} = 3264 \text{ [Втч].}$$

Далее произведём сравнение базового варианта и СУ на основе ННС. Оценку эффективности указанных систем будем производить для рабочего времени рассматриваемого объекта (всех трёх типов помещений), когда на некоторые (или на все) группы ОН подано напряжение питания. При этом оценку энергоэффективности проведем в относительных величинах, где за базовую единицу принята система ручного управления (в которой напряжение, поданное на ОН в течении рабочего дня не изменяется и равно номинальному значению) с соответствующим абсолютным показателем затрат электроэнергии. Такой подход позволяет при одинаковых условиях сравнить результаты базовой автоматизированной СУ и СУ на базе ННС. При этом отпадает необходимость создания дополнительных баз данных для временного ряда в явном виде совместно с показателем естественной освещённости, вариации которой будут прописаны в уставках моделируемых систем.

Сформулируем уравнения (2),(3) для выявления уставок ОН в общем случае, как для базового, так и для варианта СУ ОН на базе ННС:

$$E_{ecmN}(\Phi_{ecmN}) \geq E_{необ.N}(\Phi_{необ.N}), то E_u = 0 \quad (2),$$

$$E_{ecmN}(\Phi_{ecmN}) < E_{необ.N}(\Phi_{необ.N}), то E_u = f(t, D, z) \quad (3),$$

где E_{ecmN} – величина естественного освещения; $E_{необ.N}$ – величина необходимого освещения; E_u – величина искусственного освещения; t – временное задание; D – данные с датчиков; z – иные виды задания. Таким образом, если количества естественной освещённости достаточно для соблюдения норм СНиП 23–05–95, то искусственное освещение не применяется – уравнение (1). В противном случае величина искусственной освещённости устанавливается на уровне, позволяющем компенсировать недостаток естественного светового потока – уравнение (2). Для увеличения энергоэффективности при этом используются дополнительные условия, получаемые применением различных типов датчиков (функция D), а также специальные

режимы задания (функция z). Так, к примеру, отсутствие сигналов с датчиков движений за определённый промежуток времени может являться сигналом к снижению величины E_u для данного помещения (его части) до определённой величины (в частности $E_u = 0$). Аналогично при технологическом простое помещения (его части) величина E_u также должна быть уменьшена для достижения вышеозначенной цели.

В базовой СУ ОН возможен только дискретный учёт сигналов с фотоэлементов и датчиков движения применительно к уравнению (3). Т.е. поступившая информация с регистрирующих элементов является частью для активации той или иной уставки относительно управления искусственным световым потоком. Это обстоятельство выражается в выполнении, к примеру, следующих программ:

– сигнала с датчика движения не поступало в течении контрольного промежутка времени, следовательно $E_u = 0$;

– $E_{ecmN}(\Phi_{ecmN}) < E_{необ.N}(\Phi_{необ.N})$ и сигнал с датчика движения поступает в течении контрольного промежутка времени, следовательно, $E_u = const$.

Кроме того, предполагается прямая зависимость между напряжением питания и созданным световым потоком. Сведём в табл.2 уставки для данной системы (здесь Dd – сигнал с датчика движения).

Таблица 2

Уставки для базовой СУ

Тип помещен ий	Уставки для СУ
А и В	1.Если выполняется (2), то $U_{ннт} = 0$ 2.Если выполняется (3) и $Dd=0$, то $U_{ннт} = U_{мин} = 0,5U_{ном}$ 3. Если выполняется (3) и $Dd=1$, то $U_{ннт} = U_{ном}$
С	1.Если выполняется (2), то $U_{ннт} = 0$ 2.Если выполняется (3) и $Dd=0$, то $U_{ннт} = 0$ 3. Если справедливо (3) и $Dd=1$, то $U_{ннт} = U_{ном}$

В таблице 2 введена уставка $U_{мин} = 0,5U_{ном}$, которая в первом приближении

учитывает вероятность необходимости применения искусственного освещения в случаях, — когда (при $E_{есmN}(\Phi_{есmN}) < E_{необ.N}(\Phi_{необ.N})$) сигнал с датчика движения не поступал в течение контрольного промежутка времени, но в реальности существует необходимость создания искусственной освещённости (периодические операции проверки оборудования, недостаточная чувствительность датчика движения к малым перемещениям).

На рис.2 представлена модель базовой СУ ОН, установки которой сведены в табл.2.

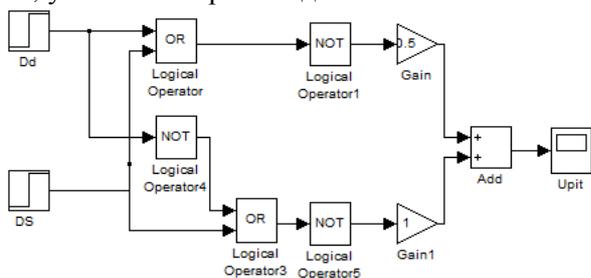


Рис. 2. Математическая модель базовой СУ ОН

Задание различных вариантов наличия/отсутствия сигналов с датчиков движения и освещённости производится в относительных единицах от величины рабочего времени, принятого при моделировании за интервал 1с. Блоки Dd и DS предназначены для варьирования суммарных (за продолжительность рабочего дня) величин наличия соответствующих сигналов с датчиков освещённости и движения. Пример работы модели при Dd = 0,9 (0,9 от продолжительности рабочего дня поступали сигналы с датчиков движения) и DS = 0,2 (0,2 от продолжительности рабочего времени естественной освещённости было достаточно для соблюдения требуемых норм) представлен на рис.3.

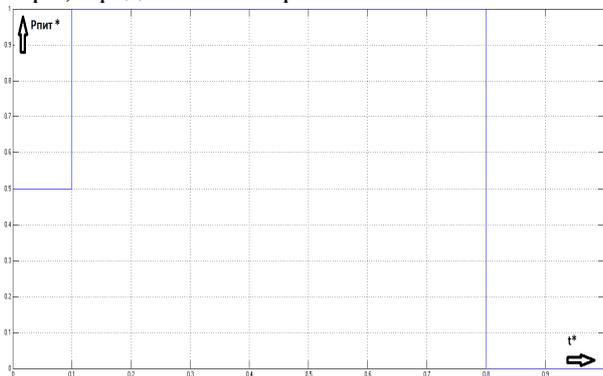


Рис. 3. Результат математического моделирования базового варианта СУ ОН(Dd =0,9; DS = 0,2)

Данная модель соответствует помещениям типа А и В. Для типа С модель аналогична, за исключением величины первого слагаемого, в котором отсутствует оператор NOT и Gain=0.

Полученные результаты по величине потребленной ОН мощности, в относительных единицах, приведены в табл.3.

Они показывают эффект, получение которого возможно от применения базовой СУ ОН.

При этом крайние варианты (строка 1 и 3) соответствуют границам применения системы: в первом случае СУ соответствует ручному управлению коммутацией ОН, во втором предложены наиболее оптимальные условия, возможные в

Таблица 3
Результаты моделирования базовой СУ ОН

Относительное кол-во движения	Относительное кол-во времени выполнения (2)	Относительная величина Рпит. (для А и В)	Относительная величина Рпит.(С)
1,0	0	1,0	1,0
0,9	0,2	0,75	0,65
0,85	0,3	0,65	0,55
0,8	0,2	0,7	0,6

рабочее время (высокая доля вклада в общее освещение естественной составляющей и низкий уровень суммарного сигнала с датчиков движения). Таким образом, можно сделать вывод, что базовый вариант даёт возможность получить экономический эффект в размере 25-35% (вариант 2 строки) для различных типов помещений в сравнении с вариантом ручной СУ ОН, что хорошо коррелируется с данными [2] и говорит о достоверности данных предложенной математической модели.

Перейдём к рассмотрению СУ ОН на базе ННС, для чего составим базу правил (табл.4), в которой переменные задаются в виде лингвистических переменных и соответствующих им диапазонов числового значения рассматриваемых параметров. Для моделирования выбраны 5 параметров (рис. 4, блок 1): величина естественной освещённости, сигналы с датчиков движения, сигналы с датчиков состояния среды, график рабочего дня, сигналы с датчика аварийных ситуаций. Суть введения лингвистической переменной в этом случае состоит в переходе от задания числового значения аргумента к его описанию в языковых терминах для определённой функции. При этом «нечёткость» системы выражается в присвоении

лингвистической переменной не одного, а нескольких значений одновременной, возможных с различной степенью вероятности. Так, значение лингвистической переменной «низкое», для определения величины естественного освещения, лежит с вероятностью равной единице в промежутке от 0 до 0,6 в относительных единицах, выражающих поступление сигнала данной величины с соответствующего датчика.

После поступления информации о состоянии соответствующих входных сигналов в вид лингвистических переменных, контроллер (рис.4, блок 2), с математической точки зрения представляющий четырёхслойную нейронную сеть с прямым распространением ошибки (рис. 5), на основании обучающих правил производит вычисление выходного сигнала.

Задание правил производится также как и задание входных переменных в виде лингвистических функций, связывающих необходимые для нас зависимости.

При такой организации выходной сигнал, отвечающий за величину искусственного освещения, будет также выражен в «нечётком» виде (рис.4, блок 3). Это можно понимать как аналоговое задание напряжения питания для различных групп ОН в зависимости от заданных функций принадлежности входных величин, выходного сигнала и правил, предусмотренных в нейро–нечётком контроллере.

В соответствии с выше сказанным, функциональная схема ОН на базе ННС будет иметь вид представленный на рис. 3.

Таблица 4

База правил для СУ ОН на базе ННС

Тип помещения	А и В					С				
	низкие (0,1-0,6)	...	средние (0,5-0,8)	...	высокие (0,8-1,0)	низкие (0,1-0,6)	...	средние (0,5-0,8)	...	высокие (0,8-1,0)
Показания датчик освещённости	низкие (0,1-0,6)	...	средние (0,3-0,8)	...	высокие (0,8-1,0)	низкие (0,1-0,3)	...	средние (0,3-0,8)	...	высокие (0,8-1,0)
Показания датчика движения	низкое (0,1-0,5)	...	среднее (0,5-0,8)	...	высокое (0,8-1,0)	низкое (0,1-0,4)	...	среднее (0,4-0,8)	...	высокое (0,8-1,0)
Производственное задание	нет (0,3-1,0)	...	нет (0,3-1,0)	...	да (0,1-0,2)	нет (0,3-1,0)	...	нет (0,3-1,0)	...	да (0,1-0,2)
Загрязнённость среды	средняя (0,5-0,8)	...	средняя (0,5-0,8)	...	низкая (0-0,5)	низкая (0-0,5)	...	средняя (0,5-0,8)	...	низкая (0-0,5)
Аварийные ситуации										
Доля искусственного освещения										

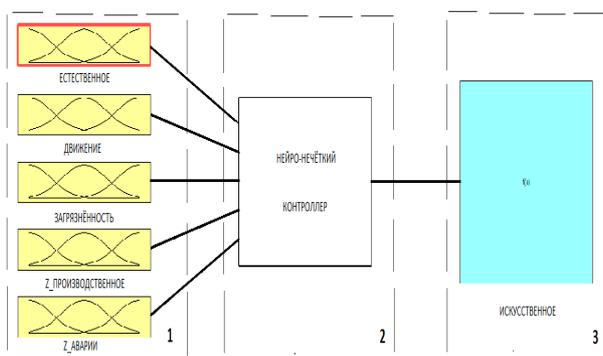


Рис. 4. Функциональная схема СУ ОН на базе ННС

В результате моделирования были получены зависимости выходной переменной (величина искусственного освещения) от входных (рис. 6). Из анализа этих данных можно определить в терминах лингвистических переменных взаимосвязи между выходным сигналом управления и входными переменными, к примеру:

– чем выше естественное освещение, тем ниже потребляемая мощность искусственного освещения;

– чем выше показания датчиков движения (интенсивность рабочих операций), тем выше мощность требуемого искусственного освещения.

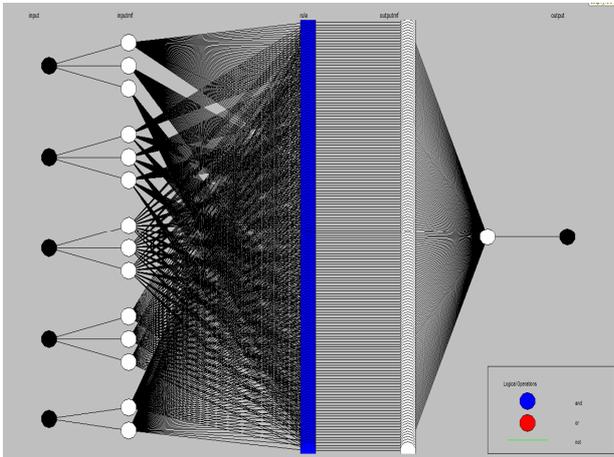


Рис. 5. Нейро – нечёткий контроллер СУ ОН на базе ННС

На рис. 6 представлены графики зависимости выходного сигнала управления от входных переменных. При этом: 1 – естественная освещённость, 2 – датчики движения, 3 – состояние загрязнённости среды, 4 – производственное задание, 5 – сигналы аварийных ситуаций – отсутствие аварийных ситуаций определяется промежутком (0,2 – 1,0).

Результаты моделирования СУ ОН на базе ННС приведены в табл.5.

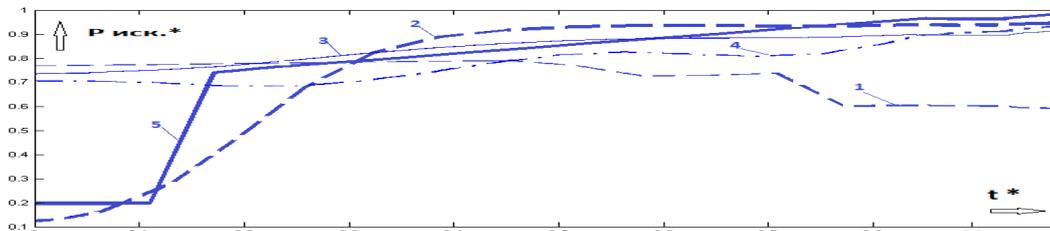


Рис. 6 Зависимости выходного сигнала управления от входных переменных

Таблица 5

Результаты моделирования СУ ОН на базе ННС

Естественное освещение, *	Сигнал датчиков движения, *	Состояние загрязнённости среды, *	Производственное задание, *	Сигналы аварийных ситуаций, *	Относительная величина Рпит. (для А и В)	Относительная величина Рпит.(С)
0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
0,2	0,9	0,5	0,5	1,0	0,69	0,57
0,3	0,85	0,5	0,5	1,0	0,58	0,51
0,2	0,8	0,5	0,3	1,0	0,65	0,54

По результатам проведенного моделирования можно сделать следующие выводы:

1. Для достижения оптимальных показателей энергоэффективности СУ ОН следует применять современные технические и программные решения [6].

2. Что касается алгоритмов управления, то типовые СУ ОН, на основе булевой логики, позволяют достичь экономии электроэнергии в сравнении с неуправляемыми вариантами ОН не более чем на 25 – 35 %.

3. Применение СУ ОН на базе ННС позволяет увеличить показатель энергоэффективности СУ ОН, в сравнении с базовым вариантом, дополнительно на 5 – 7 %.

4. Достижение значительного дополнительного эффекта в сбережении

электроэнергии в случае реализации СУ ОН на базе ННС (более гибкой в сравнении с базовым вариантом) возможно при плавном регулировании уровня напряжения питания групп ОН. Последний фактор в любом случае экономически оправдан при применении контроллеров освещения [7].

5. Несмотря на увеличение капиталовложений в СУ ОН на базе ННС (в сравнении с базовым вариантом) на величину 5 – 10 % , эффект от её применения видится достаточно значительным для средних и особенно крупных объектов инфраструктуры. Величина дополнительно сэкономленной электроэнергии для рассматриваемого объекта (с помещениями типа А, В, С по СНиП 23-05-95) составит 4200–5880 кВтч/год в случае применения СУОН на базе ННС.

Литература

1. Федеральный закон РФ от 23.03.09 г. N 261-ФЗ "Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации" // "РГ" - Федеральный выпуск №5050 от 27 ноября 2009 г.
2. Айзенберг Ю.Б. Справочная книга по светотехнике / Под ред. Ю.Б.Айзенберга 3-е изд. Перераб. и доп. М.: Знак – 972 с: ил.
3. Красноруцкий И.Н. Управление электропитанием светильников с использованием методов нечёткой логики // Вестник ЮУрГУ. 2010. № 14. – С. 11–14.
4. Леоненков А.Л. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH. БХВ-Петербург. 2003.
5. Естественное и искусственное освещение СНиП 23-05-95.
6. Гусев К.Ю. Нейросетевое моделирование динамики нелинейных систем / К.Ю. Гусев, В.Л. Бурковский // Вестник Воронежского государственного технического университета. 2012. Т. 8. № 12.1. С. 51 – 56.
7. «SIA ELSAVER» Контроллер освещения LEC.// <http://elsaver.lv/index.php/ru/web/show/15>.

Воронежский государственный технический университет
Старооскольский технологический институт (филиал) Национального исследовательского
технологического университета «Московский институт стали и сплавов»

POWER EFFECTIVE ALGORITHMS OF MANAGEMENT OF SYSTEMS OF LIGHTING LOADING

V. N. Krysanov, K.S. Hamburg, A.L. Rutskov

In article it is considered questions of application of power effective algorithms of management by lighting loading. To be made the comparative analysis of various types of the control systems applied to this class of tasks. On means of mathematical models it is considered indicators of energy efficiency of control systems by lighting loading on the basis of neuro and indistinct algorithms in comparison with basic options of creation of the above objects

Key words: lighting loading, power effective algorithms, neuro – indistinct network