

$$\frac{y_{i+1}}{y_i} = 1 - akqy_i^{q-2}$$

Для сходимости необходимо, чтобы  $|y_{i+1}| < y_i$ , откуда получаем следующее условие:

$$\frac{|y_{i+1}|}{y_i} = |1 - akqy_i^{q-2}| < 1$$

Чем меньше по модулю правая часть, тем быстрее сходится процесс поиска. Поэтому чем ближе величина  $akqy_i^{q-2}$  к единице, тем интенсивнее сходимость процесса.

При  $q=2$ , т.е. когда характеристика объекта представляет собой квадратичную параболу, условие сходимости имеет вид  $0 < a < \frac{1}{k}$ . При  $a=1/2k$  имеем  $y_{i+1} = 0$ , т.е. экстремум достигается за один шаг поиска.

При  $q>2$  сходимость процесса зависит от близости к экстремуму. Процесс сходится при  $|y|^{q-2} < \frac{2}{akq}$  и расходится в противном случае. Для расширения зоны устойчивости нужно уменьшить параметр шага  $a$ . Сам процесс поиска будет идти по-разному. Возможно, что поиск будет происходить с «перескоком» через экстремум  $\frac{y_{i+1}}{y_i} < 0$  (знак  $y_{i+1}$  изменяется по сравнению со знаком  $y_i$ ). Или система в процессе поиска будет приближаться к экстремуму с одной стороны:  $|y|^{q-2} < \frac{1}{akq}$ .

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Растрюгин Л.А. Системы экстремального управления. – М.: Наука, 1974. – 134 с.

УДК 628.987

Н.П. Краевская, доцент; Н.Н. Пустовалова, доцент

#### ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭЛЕКТРООСВЕТИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ

This article are considered aspects of estimation of efficiency of electric-lighting devices.

В условиях дефицита и непрерывного роста стоимости электрической энергии большое значение приобретает использование электросберегающего эффективного электрооборудования, в том числе и электроосветительного. В настоящее время номенклатура светильников постоянно расширяется. Выпускаемая многочисленными предприятиями осветительная арматура, предназначенная для установки в одних и тех же помещениях, имеет значительный разброс технических параметров.

Эффективность электроосветительного оборудования (ЭО), как правило, оценивают по номинальной мощности, световому потоку источников света, коэффициенту полезного действия осветительной арматуры, экономии электроэнергии и другим параметрам [2, 6]. При такой оценке эффективности ЭО экономический эффект учитывается только частично, а социальный вовсе не принимается в расчет. Между тем количе-

ство болезней органов зрения за последние 10 лет выросло на 40% [3]. Среди основных причин снижения зрения медики называют экономию электрической энергии на освещение, такие недостатки самых распространенных источников света – люминесцентных ламп, как снижение светового потока лампы к концу срока службы на 46% от номинального, спектральный состав (ультрафиолетовый и инфракрасный) света, вредные для зрения человека пульсации светового потока с частотой 100 Гц на переменном токе 50 Гц, отрицательное воздействие звукового давления на частоте 50 Гц (шум при работе). Эти недостатки люминесцентных ламп не только отрицательно влияют на зрение, но и снижают производительность труда.

При проектировании электрического освещения конкретных объектов сравниваются различные варианты осветительных установок. Основное внимание при этом обращается на создание оптимальных условий для зрительной работы человека с учетом эмоциональной обстановки. На стадии проектирования должно закладываться рациональное электроосветительное оборудование, учитываться как экономический, так и социальный эффект.

Эффективность осветительной установки возможно рассчитать по техническим параметрам ее составляющих. Техническими параметрами, определяющими *экономическую эффективность*, являются:

- номинальная мощность, световая отдача, коэффициент полезного действия, температура цветопередачи, срок службы источников света люминесцентных ламп;
- число и мощность источников света, коэффициент полезного действия, срок службы осветительной арматуры;
- потеря мощности или экономия электрической энергии, коэффициент полезного действия, коэффициент мощности, влияние на срок службы источников света пускорегулирующей аппаратуры.

К параметрам, определяющим *социальную эффективность*, относятся:

- номинальный и минимальный световой поток, индекс цветопередачи источников света;
- класс по светораспределению, показатель кривой силы света, защитный угол, габаритная яркость осветительной арматуры.

Таким образом, осветительные устройства характеризуются значительным числом параметров. Сопоставление вариантов осветительных установок можно производить по показателю энергоэффективности оборудования.

Показатель энергоэффективности можно определить с использованием математических методов, в частности, с помощью метода многокритериального ранжирования. Для сравнения были выбраны светильники т.ЛПО, выпускаемые шестью предприятиями России и Рижским светотехническим заводом. Все светильники с двумя люминесцентными лампами т.ЛБ-2х40 Вт с ПРА (пускорегулирующей аппаратурой) электронными, электромагнитными и стартерами.

Вычисления будем производить, используя семь основных параметров для шести вариантов осветительной арматуры. Для определения функций принадлежности найдем значения параметров, соответствующие узловым точкам функций принадлежности. Характеристика узловых точек и соответствующие им значения параметров представлены в табл. 1, 2.

Таблица 1

**Характеристика узловых точек функции принадлежности**

Значение функции принадлежности	Характеристика качества осветительной арматуры
1,00	Соответствует наилучшему уровню качества
0,80	Отличное качество, соответствующее наилучшему образцу
0,50	Удовлетворительное качество аппаратуры
0,37	Минимально допустимый уровень качества
0,20	Условно допустимое качество оборудования
0,00	Плохое качество оборудования

Среди шести вариантов осветительной аппаратуры первые два используют стартер, следующие два – электромагнитную ПРА, следующие два – электронную ПРА.

Таблица 2

**Значения параметров осветительной аппаратуры**

Параметры	Значения параметров, соответствующие узловым точкам функции принадлежности					
	0,00	0,20	0,37	0,50	0,80	1,00
Класс по светораспределению	35	40	50	62	82	82
Показатель кривой света	1,2	1,4	1,3	1,2	2,5	2,8
Защитный угол, °	30	30	45	60	90	90
Габаритная яркость, Кд	2000	2000	3000	3000	5000	5500
Коэффициент мощности с ПРА	0,5	0,6	0,83	0,83	0,93	0,93
Коэффициент полезного действия, %	45	57	60	63	60	70
Экономия электроэнергии, %	0	0	18	20	25	30

Исследования показали, что наилучшую точность дает построение функции второго порядка, вида  $y=ax^2+bx+c$ .

С помощью опций среды EXCEL определяются коэффициенты  $a$ ,  $b$  и  $c$ . Коэффициенты функций принадлежности приведены в табл. 3.

Таблица 3

**Коэффициенты функций принадлежности**

Параметры	Коэффициенты		
	a	b	c
Класс по светораспределению	-0,00006	0,0236	-0,6954
Показатель кривой света	-0,1285	0,9476	-0,6910
Защитный угол, °	-0,00005	0,0189	-0,4191
Габаритная яркость, Кд	-0,00000004	0,0005	0,7939
Коэффициент мощности с ПРА	5,1102	-5,4233	1,4965
Коэффициент полезного действия, %	0,0003	-0,0022	-0,5526
Экономия электроэнергии, %	0,0009	0,0032	0,0974

Пусть нужно оценить осветительную аппаратуру, имеющую следующие показатели: класс по светораспределению – 80; показатель кривой света – 1,5; защитный угол, ° – 65; габаритная яркость – 3500; коэффициент мощности – 0,85; коэффициент полезного действия, % – 69; экономия электроэнергии, % – 20.

Подставив значения параметров, находим значения функций принадлежности и, по формуле средней геометрической, агрегирующей функции принадлежности, которая и является показателем эффективности. Столбец 7 в табл. 4 соответствует оцениваемому варианту аппаратуры.

Таблица 4

**Значения функций принадлежности и агрегирующей функции принадлежности**

Параметры	Значения функции принадлежности						
	1	2	3	4	5	6	7
Класс по светораспределению	0,0571	0,1526	0,3346	0,5372	0,8364	0,8364	0,8086
Показатель кривой света	0,2611	0,3838	0,3237	0,2611	0,8749	0,9548	0,4413
Защитный угол, °	0,1029	0,1029	0,3302	0,5349	0,8769	0,8769	0,5982
Габаритная яркость, Кд	0,0461	0,0461	0,3461	0,3461	0,7061	0,7461	0,4661
Коэффициент мощности с ПРА	0,0624	0,0822	0,5156	0,5156	0,8726	0,8726	0,5788
Коэффициент полезного действия, %	0,0441	0,2967	0,3954	0,4995	0,3954	0,7634	0,7239
Экономия электроэнергии, %	0,0974	0,0974	0,4466	0,5214	0,7399	1,0034	0,5214
Показатель эффективности	0,0789	0,1309	0,3792	0,4456	0,7348	0,8605	0,5787

По значению показателя эффективности можно выбрать арматуру светильников с ПРА, источники света. Новому варианту осветительной аппаратуры соответствует показатель эффективности – 0,5787.

Приведем другой пример расчета, в котором определим показатель эффективности люминесцентных ламп с параметрами, перечисленными в табл. 5.

Таблица 5

**Значения параметров, соответствующих узловым точкам функции принадлежности**

Параметры	Значения параметров, соответствующие узловым точкам функции принадлежности				
	0,20	0,45	0,63	0,80	1,00
Номинальный световой поток, лм	2100	2340	2580	2600	3000
Минимальный световой поток, лм	1890	2105	2320	2340	2700
Световая отдача, лм/Вт	52,5	58,5	69,5	69,5	75
Индекс цветопередачи	0,0120	0,0109	0,0143	0,0161	0,0175

Основой для расчета явились пять типов ламп с четырьмя параметрами. Соответствующие коэффициенты  $a$ ,  $b$  и  $c$  представлены в табл. 6.

Таблица 6

**Коэффициенты функций принадлежности**

Параметры	Коэффициенты		
	$a$	$b$	$c$
Номинальный световой поток, лм	-0,0000004	0,0028	4,0068
Минимальный световой поток, лм	-0,0000005	0,0031	4,0400
Световая отдача, лм/Вт	0,0004	0,0187	0,0976
Индекс цветопередачи	14334	305,51	1,9787

При необходимости оценить новую лампу надо определить ее показатель эффективности таким же образом, как и в предыдущем примере через агрегирующую функцию. Например, пусть нужно оценить лампу с параметрами: номинальный световой по-

ток – 2700, минимальный световой поток – 2400, световая отдача – 70, индекс цветопередачи – 0,0165.

Таблица 7

## Значения функций принадлежности и агрегирующей функции принадлежности

Параметры	Значения функции принадлежности					
	1	2	3	4	5	6
Номинальный световой поток, лм	0,1092	0,3549	0,5546	0,5692	0,7932	0,6372
Минимальный световой поток, лм	0,0329	0,2699	0,4608	0,4762	0,6850	0,5200
Световая отдача, лм/Вт	0,2236	0,3784	0,737	0,737	0,9526	0,7556
Индекс цветопередачи	0,3786	0,3515	0,5396	0,7800	1,0307	0,8462
Показатель эффективности	0,1321	0,3360	0,5646	0,6283	0,8546	0,6772

В шестом столбце табл. 7 определяется показатель эффективности для оцениваемой лампы. Ее значение равно 0,6772, т.е. лампа по своим показателям несколько превышает средний уровень.

Таким образом, метод многокритериального ранжирования:

- позволяет оценить преимущества и недостатки сравниваемого оборудования;
- дает возможность выбрать оборудование по значительному числу показателей, не снижая при этом точности оценки;
- используется даже при наличии малого количества сравниваемого оборудования;
- незначительно повышает сложность расчета при увеличении количества сравниваемого оборудования;
- дает количественную оценку выбираемого оборудования по различным техническим данным.

Располагая количественным показателем энергоэффективности арматуры с ПРА, источников света, возможно сопоставление вариантов осветительных установок:

- 1) с разными источниками света и одной и той же арматурой;
- 2) с разной арматурой и одинаковым источником света;
- 3) с разными источниками света и разными арматурами.

При сопоставлении по показателю энергоэффективности можно выбрать наилучшую электроосветительную установку.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Бахтизин Р.Н., Кантор О.Г., Хасанов М.М. Решение многокритериальных экономических задач в нечетных условиях (на примере нефтегазового комплекса) Проблемы нефтегазового комплекса в условиях становления рыночных отношений: Сборник научных статей. – Уфа: Изд-во Фонда содействия развитию научных исследований, 1997.
2. Битно Л.Г., Битно Ю.Л. Экологические светильники, или «ЭПРА» в Беларуси // Энергоэффективность. 2001. № 7.
3. Кириленко А.И. Нормирование освещения и энергоэффективность // Энергия и Менеджмент. 2001. № 3.
4. Каталог электроосветительной аппаратуры. – М.: Информэлектро, 1993. Ч. 1.
5. Каталог электроосветительной аппаратуры. – М.: Информэлектро, 1994. Ч. 2.
6. Лесман Е.А. Освещение административных зданий и помещений. – Л.: Энергоатомиздат, 1985.
7. Трембач В.В. Световые приборы. – М.: Высшая школа, 1990.