

робностей. Благодаря этому они находят большую популярность среди читателей научно-популярных изданий.

### Литература

1. <http://n-t.ru/tp/ts/dms.htm>.
2. <http://www.ufolog.nm.ru/artikles/searl.htm>.

УДК 620.004.5

## АНАЛИЗ НАДЕЖНОСТИ РЕЛЕЙНО-КОНТАКТНЫХ СИСТЕМ С НЕСИММЕТРИЧНЫМИ ОТКАЗАМИ

Северин Л.А.

Научный руководитель – д-р техн. наук, профессор АНИЩЕНКО В.А.

Для повышения надежности релейно-контактных систем применяют различные схемы резервирования: с последовательным соединением элементов «два из двух» («2/2»), «три из трех» («3/3») и т. д.; параллельным «один из двух» («1/2»), «один из трех» («1/3») и т. д.; последовательно-параллельным; параллельно-последовательным; смешанным соединением элементов: «два из трех» («2/3»), «два из четырех» («2/4»), «три из четырех» («3/4»), «два из пяти» («2/5») и т. д.

Особенность релейно-контактных схем в том, что контактные элементы могут находиться в одном из трех состояний: исправном с вероятностью  $p_i$  и двух неисправных по причине отказов типа «обрыв»  $q_{i0}$  или «замыкание»  $q_{i3}$  [1].

Вследствие несимметричности отказов резервирование может не только не увеличивать, но даже снижать надежность релейно-контактных систем.

Для каждого  $i$ -го контакта выполняется условие:

$$p_i + q_{i0} + q_{i3} = 1.$$

Вывод формул показателей надежности для релейно-контактных схем, состоящих из  $n$  элементов, производится на основании биномиального разложения Ньютона [3]:

$$\prod_{i=1}^n (p_i + q_{i0} + q_{i3}) = 1.$$

Для различных схем резервирования были проведены расчеты вероятности безотказной работы  $P$ , вероятностей отказов типа «обрыв»  $Q_0$ , «замыкание»  $Q_3$ , полагая элементы систем равнонадежными ( $p_i = p = \text{const}$ ,  $q_{i0} = q_0 = \text{const}$ ,  $q_{i3} = q_3 = \text{const}$ ).

Результаты расчетов вероятностей безотказной работы схем, при  $p = 0,8 = \text{const}$  представлены в виде графиков зависимости вероятности безотказной работы схемы от

$P\left(\frac{q_0}{q_3}\right)$  отношения вероятности отказа типа «обрыв»  $q_{i0}$  к вероятности типа «замыка-

ние»  $q_{i3}$  отдельных элементов (рисунок 1) и от  $P\left(\frac{q_3}{q_0}\right)$  отношения вероятности отказа

типа «замыкание»  $q_{i3}$  к вероятности типа «обрыв»  $q_{i0}$  (рисунок 2). Как видно из рисунков, надежность систем при резко отличающихся вероятностях отказов различных типов у разных систем неодинакова. Это зависит как от конфигурации системы так и от числа резервных элементов.

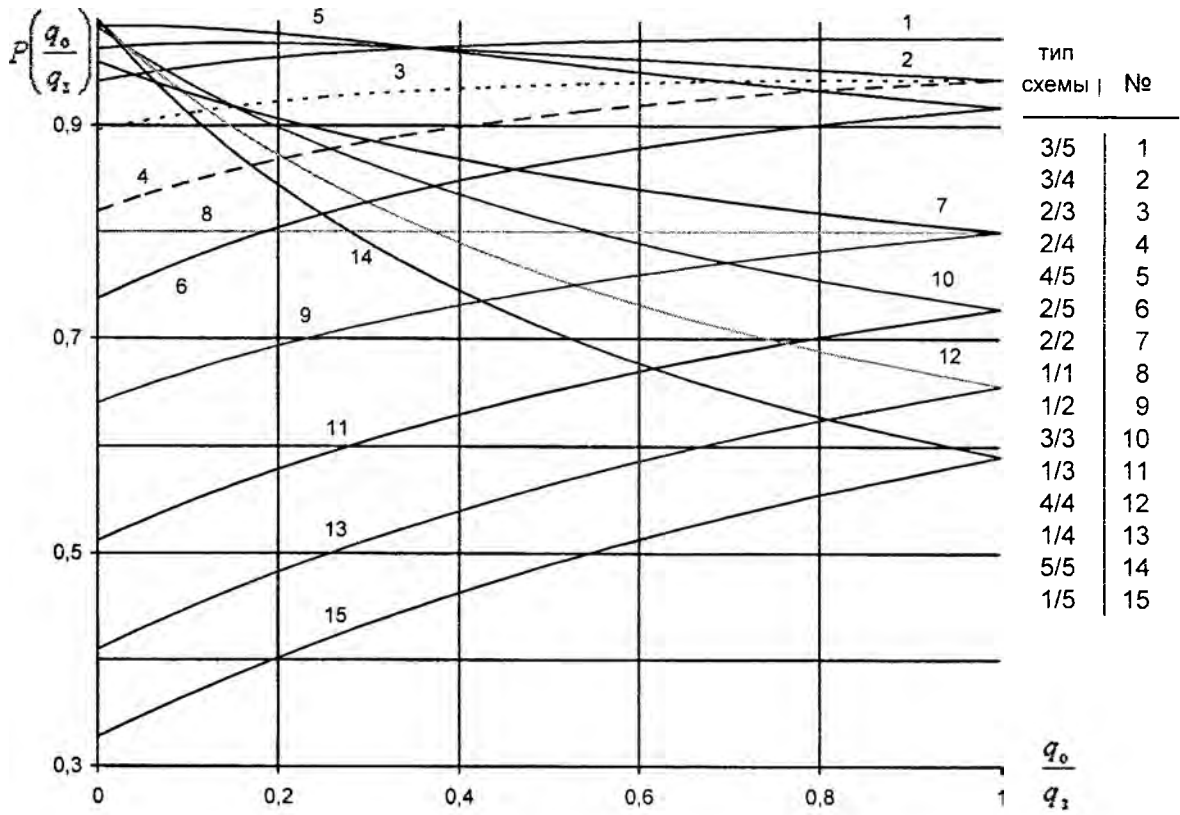


Рисунок 1

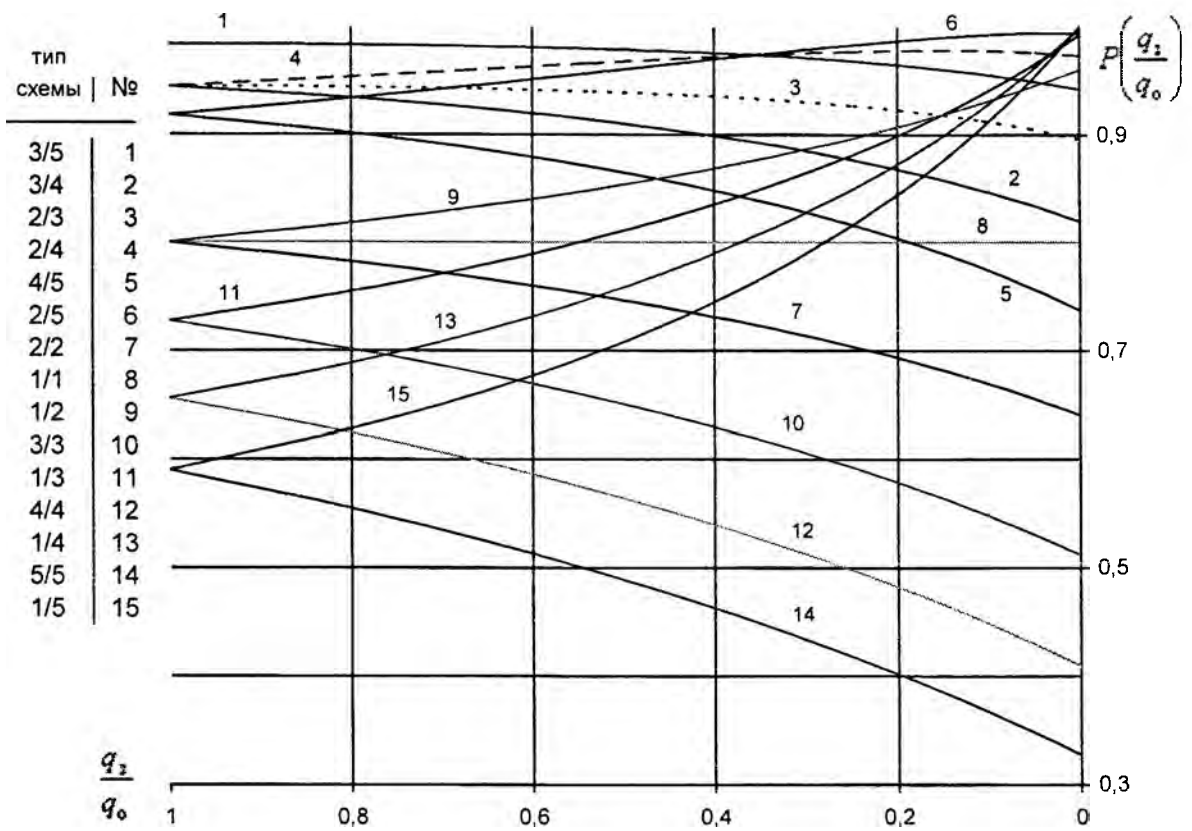


Рисунок 2

Шкала предпочтений по показателю надежности  $P$  представлена в таблице 1 для  $P\left(\frac{q_0}{q_3}\right)$  и в таблице 2 для  $P\left(\frac{q_3}{q_0}\right)$ . Зная вероятность отказа типа «обрыв»  $q_0$  и вероятность отказа типа «замыкание»  $q_3$  контактных элементов, находим соответствующее соотношение вероятностей отказа: если  $q_0 < q_3$ , то  $\frac{q_0}{q_3}$ , если  $q_0 > q_3$  –  $\frac{q_3}{q_0}$ . Далее, пользуясь шкалой предпочтений, выбираем наиболее надежную схему резервирования.

**Таблица 1. Шкала предпочтений по показателю надежности  $P$**

Интервал изменения $\frac{q_0}{q_3}$	Системы резервирования														
	по мере убывания вероятности $P\left(\frac{q_0}{q_3}\right)$														
0,0000–0,00632	5/5	4/4	4/5	3/3	3/4	2/2	3/5	2/3	2/4	1/1	2/5	1/2	1/3	1/4	1/5
0,00632–0,0188	4/5	4/4	5/5	3/3	3/4	2/2	3/5	2/3	2/4	1/1	2/5	1/2	1/3	1/4	1/5
0,0188–0,0261	4/5	4/4	3/3	5/5	3/4	2/2	3/5	2/3	2/4	1/1	2/5	1/2	1/3	1/4	1/5
0,0261–0,0309	4/5	4/4	3/3	3/4	5/5	2/2	3/5	2/3	2/4	1/1	2/5	1/2	1/3	1/4	1/5
0,0309–0,0397	4/5	3/4	3/3	4/4	5/5	2/2	3/5	2/3	2/4	1/1	2/5	1/2	1/3	1/4	1/5
0,0397–0,0539	4/5	3/4	3/3	4/4	5/5	3/5	2/2	2/3	2/4	1/1	2/5	1/2	1/3	1/4	1/5
0,0539–0,0645	4/5	3/4	3/3	4/4	3/5	5/5	2/2	2/3	2/4	1/1	2/5	1/2	1/3	1/4	1/5
0,0645–0,0648	4/5	3/4	3/3	4/4	3/5	2/2	5/5	2/3	2/4	1/1	2/5	1/2	1/3	1/4	1/5
0,0648–0,0751	4/5	3/4	3/3	3/5	4/4	2/2	5/5	2/3	2/4	1/1	2/5	1/2	1/3	1/4	1/5
0,0751–0,0923	4/5	3/4	3/5	3/3	4/4	2/2	5/5	2/3	2/4	1/1	2/5	1/2	1/3	1/4	1/5
0,0923–0,1003	4/5	3/4	3/5	3/3	2/2	4/4	5/5	2/3	2/4	1/1	2/5	1/2	1/3	1/4	1/5
0,1003–0,123	4/5	3/4	3/5	3/3	2/2	4/4	2/3	5/5	2/4	1/1	2/5	1/2	1/3	1/4	1/5
0,123–0,151	4/5	3/4	3/5	3/3	2/2	2/3	4/4	5/5	2/4	1/1	2/5	1/2	1/3	1/4	1/5
0,151–0,171	4/5	3/4	3/5	2/3	2/2	3/3	4/4	5/5	2/4	1/1	2/5	1/2	1/3	1/4	1/5
0,171–0,186	4/5	3/4	3/5	2/3	2/2	3/3	4/4	2/4	5/5	1/1	2/5	1/2	1/3	1/4	1/5
0,186–0,207	4/5	3/4	3/5	2/3	2/2	3/3	4/4	2/4	5/5	2/5	1/1	1/2	1/3	1/4	1/5
0,207–0,248	4/5	3/4	3/5	2/3	2/2	3/3	2/4	4/4	5/5	2/5	1/1	1/2	1/3	1/4	1/5
0,248–0,257	4/5	3/4	3/5	2/3	2/2	3/3	2/4	4/4	2/5	5/5	1/1	1/2	1/3	1/4	1/5
0,257–0,279	4/5	3/4	3/5	2/3	2/2	2/4	3/3	4/4	2/5	5/5	1/1	1/2	1/3	1/4	1/5
0,279–0,299	4/5	3/4	3/5	2/3	2/2	2/4	3/3	4/4	2/5	1/1	5/5	1/2	1/3	1/4	1/5
0,299–0,303	4/5	3/4	3/5	2/3	2/2	2/4	3/3	2/5	4/4	1/1	5/5	1/2	1/3	1/4	1/5
0,303–0,355	4/5	3/4	3/5	2/3	2/4	2/2	3/3	2/5	4/4	1/1	5/5	1/2	1/3	1/4	1/5
0,355–0,371	3/5	3/4	4/5	2/3	2/4	2/2	3/3	2/5	4/4	1/1	5/5	1/2	1/3	1/4	1/5
0,371–0,372	3/5	3/4	4/5	2/3	2/4	2/2	3/3	2/5	1/1	4/4	5/5	1/2	1/3	1/4	1/5
0,372–0,425	3/5	3/4	4/5	2/3	2/4	2/2	2/5	3/3	1/1	4/4	5/5	1/2	1/3	1/4	1/5
0,425–0,462	3/5	3/4	4/5	2/3	2/4	2/2	2/5	3/3	1/1	4/4	1/2	5/5	1/3	1/4	1/5
0,462–0,528	3/5	3/4	4/5	2/3	2/4	2/5	2/2	3/3	1/1	4/4	1/2	5/5	1/3	1/4	1/5
0,528–0,549	3/5	3/4	4/5	2/3	2/4	2/5	2/2	3/3	1/1	1/2	4/4	5/5	1/3	1/4	1/5
0,549–0,617	3/5	3/4	4/5	2/3	2/4	2/5	2/2	1/1	3/3	1/2	4/4	5/5	1/3	1/4	1/5
0,617–0,693	3/5	3/4	4/5	2/3	2/4	2/5	2/2	1/1	3/3	1/2	4/4	1/3	5/5	1/4	1/5
0,693–0,698	3/5	3/4	2/3	4/5	2/4	2/5	2/2	1/1	3/3	1/2	4/4	1/3	5/5	1/4	1/5
0,698–0,763	3/5	3/4	2/3	4/5	2/4	2/5	2/2	1/1	1/2	3/3	4/4	1/3	5/5	1/4	1/5
0,763–0,797	3/5	3/4	2/3	4/5	2/4	2/5	2/2	1/1	1/2	3/3	1/3	4/4	5/5	1/4	1/5
0,797–0,809	3/5	3/4	2/3	2/4	4/5	2/5	2/2	1/1	1/2	3/3	1/3	4/4	5/5	1/4	1/5
0,809–1,000	3/5	3/4	2/3	2/4	4/5	2/5	2/2	1/1	1/2	3/3	1/3	4/4	1/4	5/5	1/5

С точки зрения вероятности безотказной работы при близких значениях  $q_0$  и  $q_3$  бесспорным преимуществом по надежности имеет схема со смешанным соединением элементов «3/5», затем идут практически равнонадежные схемы «2/3», «3/4», «2/4», но схема «2/3» является более экономичной. При  $q_0 \gg q_3$  несомненное преимущество

имеют схемы с параллельным соединением элементов «1/5», «1/4» и ассиметричные схемы «2/5», «2/4». При  $q_0 \ll q_3$  наиболее предпочтительны схемы с последовательным соединением элементов «5/5», «4/4» и ассиметричные схемы «4/5», «3/4».

Таблица 2. Шкала предпочтений по показателю надежности  $P$

Интервал изменения $\frac{q_3}{q_0}$	Системы резервирования по мере убывания вероятности $P\left(\frac{q_3}{q_0}\right)$														
	1/5	1/4	4/5	1/3	2/4	1/2	3/5	2/3	3/4	1/1	4/5	2/2	3/3	4/4	5/5
0,000–0,00632	1/5	1/4	4/5	1/3	2/4	1/2	3/5	2/3	3/4	1/1	4/5	2/2	3/3	4/4	5/5
0,00632–0,0188	4/5	1/4	1/5	1/3	2/4	1/2	3/5	2/3	3/4	1/1	4/5	2/2	3/3	4/4	5/5
0,0188–0,0261	4/5	1/4	1/3	1/5	2/4	1/2	3/5	2/3	3/4	1/1	4/5	2/2	3/3	4/4	5/5
0,0261–0,0309	4/5	1/4	1/3	2/4	1/5	1/2	3/5	2/3	3/4	1/1	4/5	2/2	3/3	4/4	5/5
0,0309–0,0397	4/5	2/4	1/3	1/4	1/5	1/2	3/5	2/3	3/4	1/1	4/5	2/2	3/3	4/4	5/5
0,0397–0,0539	4/5	2/4	1/3	1/4	1/5	3/5	1/2	2/3	3/4	1/1	4/5	2/2	3/3	4/4	5/5
0,0539–0,0645	4/5	2/4	1/3	1/4	3/5	1/5	1/2	2/3	3/4	1/1	4/5	2/2	3/3	4/4	5/5
0,0645–0,0648	4/5	2/4	1/3	1/4	3/5	1/2	1/5	2/3	3/4	1/1	4/5	2/2	3/3	4/4	5/5
0,0648–0,0751	4/5	2/4	1/3	3/5	1/4	1/2	1/5	2/3	3/4	1/1	4/5	2/2	3/3	4/4	5/5
0,0751–0,0923	4/5	2/4	3/5	1/3	1/4	1/2	1/5	2/3	3/4	1/1	4/5	2/2	3/3	4/4	5/5
0,0923–0,1003	4/5	2/4	3/5	1/3	1/2	1/4	1/5	2/3	3/4	1/1	4/5	2/2	3/3	4/4	5/5
0,1003–0,123	4/5	2/4	3/5	1/3	1/2	1/4	2/3	1/5	3/4	1/1	4/5	2/2	3/3	4/4	5/5
0,123–0,151	4/5	2/4	3/5	1/3	1/2	2/3	1/4	1/5	3/4	1/1	4/5	2/2	3/3	4/4	5/5
0,151–0,171	4/5	2/4	3/5	2/3	1/2	1/3	1/4	1/5	3/4	1/1	4/5	2/2	3/3	4/4	5/5
0,171–0,186	4/5	2/4	3/5	2/3	1/2	1/3	1/4	3/4	1/5	1/1	4/5	2/2	3/3	4/4	5/5
0,186–0,207	4/5	2/4	3/5	2/3	1/2	1/3	1/4	3/4	1/5	4/5	1/1	2/2	3/3	4/4	5/5
0,207–0,248	4/5	2/4	3/5	2/3	1/2	1/3	3/4	1/4	1/5	4/5	1/1	2/2	3/3	4/4	5/5
0,248–0,257	4/5	2/4	3/5	2/3	1/2	1/3	3/4	1/4	4/5	1/5	1/1	2/2	3/3	4/4	5/5
0,257–0,279	4/5	2/4	3/5	2/3	1/2	3/4	1/3	1/4	4/5	1/5	1/1	2/2	3/3	4/4	5/5
0,279–0,299	4/5	2/4	3/5	2/3	1/2	3/4	1/3	1/4	4/5	1/1	1/5	2/2	3/3	4/4	5/5
0,299–0,303	4/5	2/4	3/5	2/3	1/2	3/4	1/3	4/5	1/4	1/1	1/5	2/2	3/3	4/4	5/5
0,303–0,355	4/5	2/4	3/5	2/3	3/4	1/2	1/3	4/5	1/4	1/1	1/5	2/2	3/3	4/4	5/5
0,355–0,371	3/5	2/4	4/5	2/3	3/4	1/2	1/3	4/5	1/4	1/1	1/5	2/2	3/3	4/4	5/5
0,371–0,372	3/5	2/4	4/5	2/3	3/4	1/2	1/3	4/5	1/1	1/4	1/5	2/2	3/3	4/4	5/5
0,372–0,425	3/5	2/4	4/5	2/3	3/4	1/2	4/5	1/3	1/1	1/4	1/5	2/2	3/3	4/4	5/5
0,425–0,462	3/5	2/4	4/5	2/3	3/4	1/2	4/5	1/3	1/1	1/4	2/2	1/5	3/3	4/4	5/5
0,462–0,528	3/5	2/4	4/5	2/3	3/4	4/5	1/2	1/3	1/1	1/4	2/2	1/5	3/3	4/4	5/5
0,528–0,549	3/5	2/4	4/5	2/3	3/4	4/5	1/2	1/3	1/1	2/2	1/4	1/5	3/3	4/4	5/5
0,549–0,617	3/5	2/4	4/5	2/3	3/4	4/5	1/2	1/1	1/3	2/2	1/4	1/5	3/3	4/4	5/5
0,617–0,693	3/5	2/4	4/5	2/3	3/4	4/5	1/2	1/1	1/3	2/2	1/4	3/3	1/5	4/4	5/5
0,693–0,698	3/5	2/4	2/3	4/5	3/4	4/5	1/2	1/1	1/3	2/2	1/4	3/3	1/5	4/4	5/5
0,698–0,763	3/5	2/4	2/3	4/5	3/4	4/5	1/2	1/1	2/2	1/3	1/4	3/3	1/5	4/4	5/5
0,763–0,797	3/5	2/4	2/3	4/5	3/4	4/5	1/2	1/1	2/2	1/3	3/3	1/4	1/5	4/4	5/5
0,797–0,809	3/5	2/4	2/3	3/4	4/5	4/5	1/2	1/1	2/2	1/3	3/3	1/4	1/5	4/4	5/5
0,809–1,000	3/5	2/4	2/3	3/4	4/5	4/5	1/2	1/1	2/2	1/3	3/3	1/4	4/4	1/5	5/5

При окончательном выборе системы резервирования необходимо дополнительно учитывать, что разнотипные отказы могут приводить к неодинаковым последствиям для технологических процессов. В этом случае шкалы предпочтений могут претерпеть изменения.

### Литература

1. Диллон, Б., Сингх, Ч. Инженерные методы обеспечения надежности систем. – М.: Мир, 1984. – 318 с.
2. Машко, А.В., Анищенко, В.А. Учет множественных отказов при расчетах надежности резервированных релейно-контактных систем // Актуальные проблемы энергетики: материалы научной конференции учащихся, студентов и аспирантов, посвященной 85-летию БНТУ / БНТУ. – Минск: БНТУ, 2005. – С. 91–94.

3. Анищенко, В.А., Машко, А.В. Надежность резервированных релейно-контактных систем при множественных отказах // Энергетика... (Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ). – 2007. – № 1. – С. 16–22.

УДК 621.311

## ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СВЕТОДИОДНЫХ ИСТОЧНИКОВ СВЕТА

*Иванейчик А.В., Соболев Е.В.*

Научные руководители – канд. техн. наук ЕВМИНОВ Л.И.,  
канд. техн. наук КОЛЕСНИК Ю.Н.

В связи с тем, что расход электроэнергии на освещение значителен и составляет 11–14 % от всей потребляемой электроэнергии в республике, а экономия топливно-энергетических ресурсов является актуальной проблемой, то внедрение энергоэффективных, обеспечивающих минимальный расход электроэнергии осветительных установок является важнейшей задачей. Однако из-за достаточно высокой их стоимости требуется технико-экономическое обоснование эффективности таких установок. Поэтому задачей исследования является анализ технической и экономической эффективности внедрения наиболее энергоэффективных, на сегодняшний день, светодиодных ламп.

Светодиод – это полупроводниковый прибор, преобразующий энергию электрического тока в световую, основой которого является светоизлучающий кристалл. К преимуществам светодиодов можно отнести:

- низкое энергопотребление;
- долгий срок службы (до 100 000 часов);
- высокий ресурс прочности – ударная и вибрационная устойчивость;
- регулируемая интенсивность;
- экологическая безопасность.

Произведём анализ технической эффективности светодиодной лампы типа Т8 [1], основные технические параметры которой представлены в таблице 1.

Таблица 1. Основные параметры светодиодной лампы типа Т8

Количество светодиодов, шт.	150
Сила света, мКд	13 000
Напряжение, В	110–240
Потребляемая мощность, Вт	8,3
Угол свечения, град.	120 ± 5

Так как производители указывают, как правило, в качестве основного светотехнического параметра светодиода силу света  $I$ , измеряемую в канделах, а основной величиной характеризующей источники света, является световой поток, измеряемый в люменах, то нужно пересчитать канделы в люмены.

Сила света определяет пространственную плотность (интенсивность) светового потока:

$$I = \frac{F}{\Omega}, \text{ лм/ср}, \quad (1)$$

где  $\Omega$  – телесный угол, измеряемый в стерадианах, ср.