

## Методика экономического выбора осветительных приборов на основе «стоимости жизненного цикла»

*Г.Я. Вагин, Е.Б. Солнцев, П.В. Терентьев, О.Ю. Малафеев*

*Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева*

**Аннотация:** Приведена методика экономического выбора осветительных приборов на основе «стоимости жизненного цикла» в зависимости от времени работы освещения в год. Выполнены расчеты для ретрофитных (обычных и галогенных ламп накаливания, компактных люминесцентных и светодиодных ламп) и линейных (офисных светильников с люминесцентными лампами, а также аналогичных светодиодных) осветительных приборов. Выявлены наиболее экономически эффективные источники внутреннего освещения для государственных и муниципальных учреждений в зависимости от времени работы освещения в год.

**Ключевые слова:** выбор осветительных приборов, стоимость жизненного цикла, экономический анализ.

Как показано в работах [1, 2] на российском рынке в настоящее время появилось большое количество источников света и осветительных приборов различных производителей. Это создает большие трудности для выбора наиболее энергоэффективных и надежных источников света. Для решения аналогичных проблем в работах [3 – 6] предлагается концепция оценивания стоимости жизненного цикла продукта (СЖЦП). Согласно ГОСТ Р 27.202-2012 «Надежность в технике. Управление надежностью. Стоимость жизненного цикла» оценка СЖЦП – это процесс экономического анализа с целью определения суммарной стоимости приобретения, владения и утилизации продукта. Результаты оценки служат важными исходными данными для принятий решений в ходе создания, применения и утилизации продукции.

При экономических расчетах, наряду с нормативным, необходимо использовать экономический срок службы оборудования (технологий). Экономический срок – это время, за которое полностью амортизируется сумма инвестиций (капитальных вложений).

В качестве расчетного промежутка для определения величины СЖЦП осветительных приборов была выбрана величина экономического срока службы равная 15 лет [7]. Величина экономического срока службы включает в себя следующие стадии:

- установку, монтаж и наладку;
- эксплуатацию, техническое обслуживание;
- списание и утилизацию.

Стоимость жизненного цикла на интервале равном экономическому сроку службы осветительного прибора (ОП) можно определить по выражению [4, 8]:

$$\tilde{N} \Delta E \ddot{O} \ddot{I} = \ddot{O}_{\text{ю}} + \sum_{t=1}^T (\dot{E}_t + \Delta \hat{E}_t + \ddot{E}_t) \cdot \alpha_t \quad (1)$$

где  $\ddot{O}_{\text{пр}}$  – цена приобретения продукта (первоначальная стоимость) – единовременные затраты, связанные с приобретением и монтажом осветительных приборов (ОП);  $\dot{E}_t$  – годовые эксплуатационные расходы, связанные с затратами на электроэнергию,  $\Delta \hat{K}_t$  – сопутствующие затраты, связанные с заменой вышедших из строя ламп;  $\ddot{L}_t$  – ликвидационная стоимость, т.е. стоимость утилизацию вышедших из строя ламп, содержащих ртуть;  $\alpha_t$  – коэффициент дисконтирования;  $T$  – экономический срок службы.

Коэффициент дисконтирования определяется по выражению:

$$\alpha_t = \frac{1}{(1+r)^T} \quad (2)$$

где  $r$  – реальная процентная ставка, о.е.:

$$r = \frac{E_n - b}{1+b} \quad (3)$$

$E_n$  – номинальная ставка дисконтирования, о.е.;  $b$  – уровень инфляции, о.е.

Годовые эксплуатационные расходы, связанные с затратами на электроэнергию, определяются по выражению:

$$\hat{E}_t = C_{\text{э}} \cdot W_{\text{э}} \quad (4)$$

где  $C_{\text{э}}$  - стоимость электроэнергии в начальный период, руб./кВт·ч;  $W_{\text{э}}$  - величина потребляемой электроэнергии в год, кВт·ч.

Сопутствующие затраты, связанные с заменой вышедших из строя ламп:

$$\Delta \hat{E}_t = C_{\text{л}} \cdot N_{\text{л}} \cdot \frac{T_{\text{а}}}{T_{\text{нл}}} \cdot T \quad (5)$$

где  $C_{\text{л}}$  - стоимость лампы, руб.;  $N_{\text{л}}$  - количество ламп;  $T_{\text{г}}$  - время работы системы освещения в год, ч;  $T_{\text{сл}}$  - нормативный срок службы лампы, ч;  $T$  - экономический срок службы.

Затраты на утилизацию содержащих ртуть ОП:

$$\ddot{E}_t = C_{\text{утил}} \cdot N_{\text{л}} \cdot \frac{T_{\text{а}}}{T_{\text{нл}}} \cdot T \quad (6)$$

где  $C_{\text{утил}}$  - стоимость утилизации лампы, руб.

Критерием сравнения стоимости жизненного цикла разных ОП является величина стоимости за один плановый период [9], в нашем случае за 1 год работы:

$$\frac{\tilde{N} \ddot{E} \ddot{I}}{T} = \frac{\ddot{O}_{\text{тб}} + \sum_{t=1}^T (\hat{E}_t + \Delta \hat{E}_t + \ddot{E}_t) \cdot \alpha_t}{T} \quad (7)$$

Для анализа были выбраны следующие осветительные приборы:

- 1) светильники с лампами накаливания (ЛН);
- 2) светильники с галогенными лампами (ГЛН);
- 3) светильники с компактными люминесцентными лампами (КЛЛ);
- 4) светильники с люминесцентными лампами типа Т8 с галофосфатным люминофором и с электромагнитным ПРА (ЛЛ Т8 с ЭмПРА);

- 5) светильники с люминесцентными лампами типа Т8 с трехполосным люминофором и с электронным ПРА (ЛЛ Т8 с ЭПРА);
- 6) светильники с люминесцентными лампами типа Т5;
- 7) светильники с ретрофитными светодиодными лампами (СД<sub>рет</sub>) (лампы прямой замены ЛН);
- 8) светодиодные светильники для прямой замены светильников с линейными ЛЛ (СД<sub>лин</sub>).

Все осветительные приборы можно разделить на 2 группы:

- лампы прямой замены ламп накаливания – ретрофитные ОП (ГЛН, КЛЛ, СД<sub>рет</sub>),
- светильники с линейными люминесцентными лампами, и их светодиодные аналоги – линейные ОП (офисные светильники с ЛЛ всех типов, а также аналогичные светодиодные светильники СД<sub>лин</sub>).

Для определения средних значений был проведен анализ характеристик ОП различных производителей. Для ретрофитных ОП в качестве эталона были выбраны ЛН мощностью 60 Вт, для линейных - офисные люминесцентные светильники размером 595x595 мм. Стоимость утилизации ртутьсодержащих ОП принята в соответствии с прайс-листом фирмы, предоставляющей данные услуги в г. Н. Новгород [10]. Результаты представлены в таблицах 1 и 2.

Таблица 1

Средние характеристики ретрофитных ОП

Осветительный прибор	Мощность, Вт	Стоимость, С <sub>л</sub> , руб.	Стоимость утилизации, С <sub>утил</sub> , руб.	Срок службы, Т <sub>сл</sub> , ч
ЛН	60	17	0	1000
ГЛН	43	85	0	2000
КЛЛ	12	190	17	8000
СД <sub>рет</sub>	8	433	0	25000

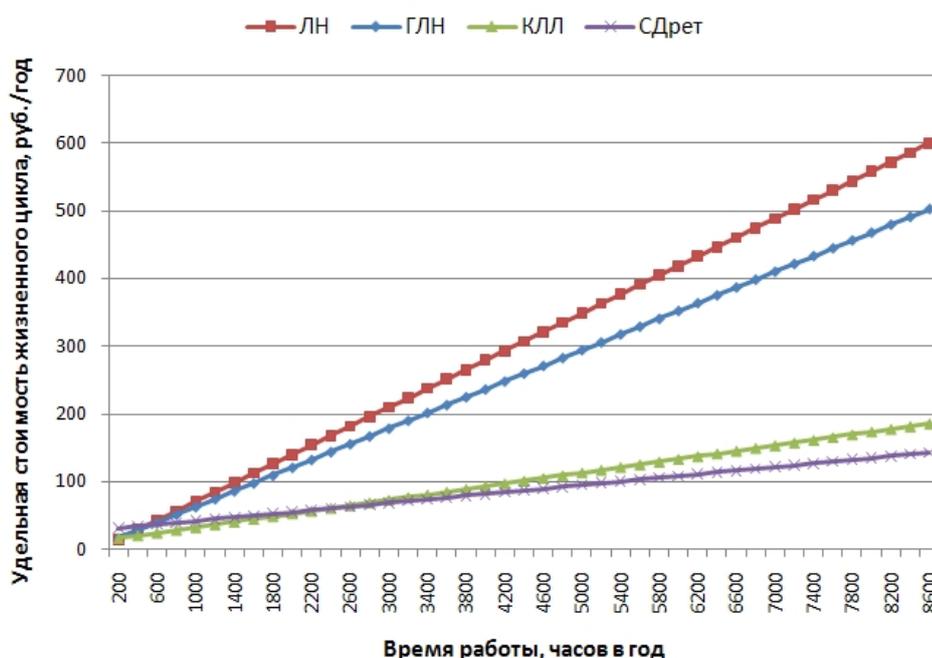
Таблица 2

Удельные показатели линейных офисных ОП

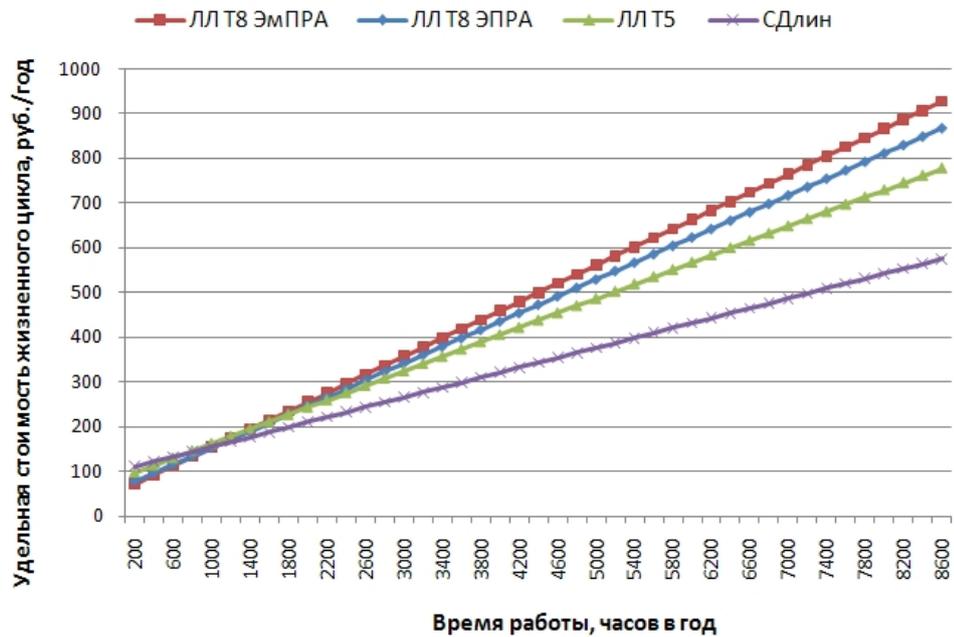
Осветительный прибор	Лампа			Светильник		Срок службы, $T_{сл}$ , ч
	Мощность, Вт	Стоимость $C_l$ , руб.	Стоимость утилизации $C_{утил}$ , руб.	Мощность, Вт	Стоимость $C_{св}$ , руб.	
ЛЛ Т8 с ЭМПРА	18	42	17	86	785	8000
ЛЛ Т8 с ЭПРА	18	73	17	79,2	888	12000
ЛЛ Т5 с ЭПРА	14	191	17	62	1225	16000
СД <sub>лин</sub>	-	-	0	36	1500	25000

Примечание. СД<sub>лин</sub> представляет собой неразборный светильник. В расчете  $C_l$  принимается равной  $C_{св}$ .

Используя выражения (1) - (7) и характеристики приведенные в таблицах 1 и 2, а также варьируя годовое число часов работы системы освещения в год, были получены зависимости стоимости удельного жизненного цикла ОП приведенные к году (рис.1). Стоимость электроэнергии принята равной 5,04 руб./кВт·ч (для государственных и муниципальных учреждений Нижегородской области), номинальная ставка дисконтирования 20%, уровень инфляции 10%.



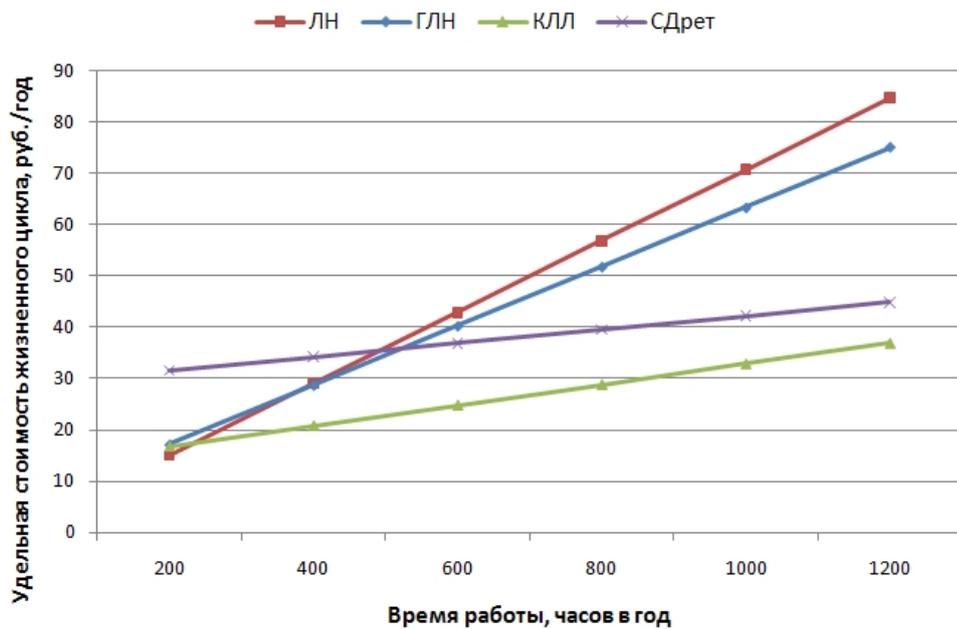
а)



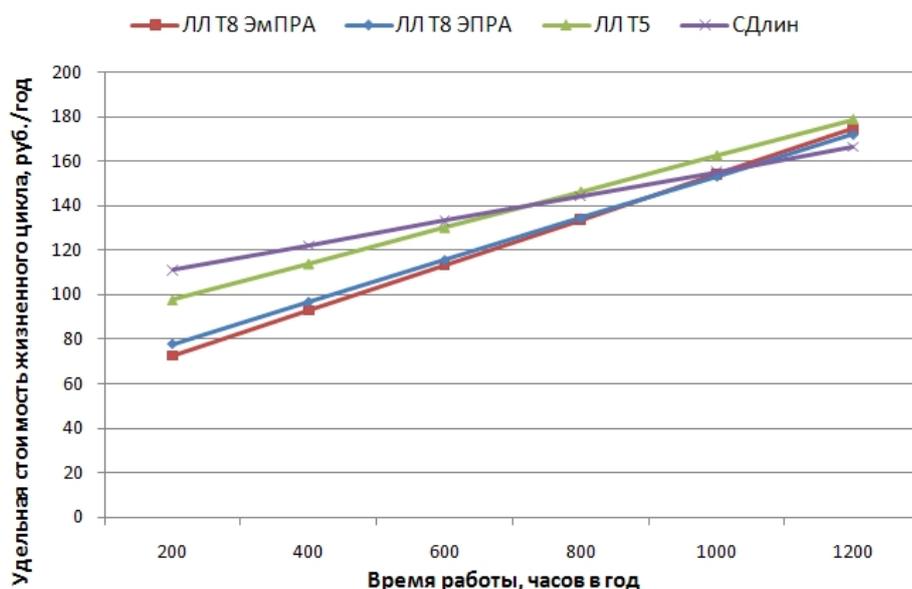
б)

Рис. 1 – Стоимость жизненного цикла осветительных приборов в год  
а) ретрофитных б) линейных офисных

На рис. 2 приведена СЖЦП для интервала времени работы системы освещения от 200 до 1200 часов в год.



а)



б)

Рис. 2 – Стоимость жизненного цикла осветительных приборов в год на интервале времени работы системы освещения от 200 до 1200 часов в год

а) ретрофитных б) линейных офисных

Для принятых исходных данных из рис. 1 и 2 можно сделать следующие выводы:

1. Светильники с ЛН и ГЛН являются экономически эффективными только при малом времени работы системы освещения (менее 200 часов в год).
2. Среди ретрофитных ОП, при работе системы освещения до 2400 часов в год экономически целесообразней использовать лампы типа КЛЛ. При работе системы освещения более 2400 часов в год экономичней использовать только светодиодные лампы.
3. Среди люминесцентных ОП при работе системы освещения до 1600 часов в год тип экономичней использовать светильники с ЛЛ типа Т8 независимо от типа ПРА. Начиная с 1600 часов экономически эффективными являются ЛЛ типа Т5.

4. Светодиодные светильники аналогичные светильникам с ЛЛ экономически целесообразно использовать при времени работы системы освещения более 1000 часов в год

### Литература

1. Вагин Г.Я., Севостьянов А.А., Солнцев Е.Б., Терентьев П.В. Исследования влияния отклонений напряжения на основные параметры газоразрядных и светодиодных источников света // Промышленная энергетика, 2014. №10. С. 32-38.

2. Ильченко Д.П.. Введение оптимизационных показателей оценки инвестирования в модернизацию предприятий с учётом энергосбережения // Инженерный вестник Дона, 2012, №3. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2012/1030.

3. Бром А.Е., Белова О.В., Сиссиньо Алессандро. Базовая модель стоимости жизненного цикла энергетического оборудования. Гуманитарный вестник, 2013, вып. 10. URL: hmbul.bmstu.ru/catalog/econom/log/115.html

4. IEC 60300-3-3(2004). Dependability management - Part 3-3: Application guide - Life cycle costing.

5. Barringer, H. Paul and David P. Weber 1996, "Life Cycle Cost Tutorial", Fifth International Conference on Process Plant Reliability, Gulf Publishing Company, Houston, TX. URL: barringer1.com/pdf/lcctutorial.pdf

6. Лоскутов А.Б., Солнцев Е.Б., Петрицкий С.А., Терентьев П.В. Методика интегральной оценки уровня энергоэффективности непромышленных объектов // Инженерный вестник Дона, 2014, №3. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2014/2477

7. Вагин Г.Я. Энергосбережение в бюджетной сфере. Учебное пособие для энергоменеджеров // НГТУ им. Р.Е. Алексеева, Н. Новгород, 2014. 198 с.



8. Oshani Perera, Barbara Morton, Tina Perfrement. “Life Cycle Costing. A Question of Value”, International Institute for Sustainable Development (IISD). URL: [ec.europa.eu/environment/gpp/pdf/WP-LifeCycleCosting.qx.pdf](http://ec.europa.eu/environment/gpp/pdf/WP-LifeCycleCosting.qx.pdf)

9. А. Бенуж, В. Казейкин, Д. Подшиваленко. Методические рекомендации по расчету стоимости жизненно цикла. URL: [naiz.org/news/Podshivalenko.pdf](http://naiz.org/news/Podshivalenko.pdf)

10. Утилизация ртутьсодержащих отходов и люминисцентных ламп. ООО "ЭкоЛогика". URL: [ecologika-nn.ru/lampy](http://ecologika-nn.ru/lampy).

### References

1. Vagin G.Ya, Sevost'yanov A.A., Solntsev E.B., Terent'ev P.V. Promyshlennaya energetika, 2014. №10. pp. 32-38.

2. Il'chenko D.P. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus), 2012, №3. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2012/1030](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2012/1030).

3. Brom A.E., Belova O.V., Sissin'o Alessandro. Gumanitarnyy vestnik, 2013, vyp. 10. URL: [hmbul.bmstu.ru/catalog/econom/log/115.html](http://hmbul.bmstu.ru/catalog/econom/log/115.html)

4. IEC 60300-3-3(2004). Dependability management. Part 3-3: Application guide. Life cycle costing.

5. Barringer, H. Paul and David P. Weber 1996, “Life Cycle Cost Tutorial”, Fifth International Conference on Process Plant Reliability, Gulf Publishing Company, Houston, TX. URL: [barringer1.com/pdf/lcctutorial.pdf](http://barringer1.com/pdf/lcctutorial.pdf).

6. Loskutov A.B., Solntsev E.B., Petritskiy S.A., Terent'ev P.V. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus), 2014, №3. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2014/2477](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2014/2477)

7. Vagin G.Ya. Energoberezhenie v byudzhetnoy sfere. Uchebnoe posobie dlya energomenedzherov [Energy saving in the public sector. Study guide for energy managers]. NGTU im. R.E. Alekseeva, N. Novgorod, 2014. 198 p.

8. Oshani Perera, Barbara Morton, Tina Perfrement. “Life Cycle Costing. A Question of Value”, International Institute for Sustainable Development (IISD). URL: [ec.europa.eu/environment/gpp/pdf/WP-LifeCycleCosting.qx.pdf](http://ec.europa.eu/environment/gpp/pdf/WP-LifeCycleCosting.qx.pdf).



9. Benuzh A., Kazeykin V., Podshivalenko D. Metodicheskie rekomendatsii po raschetu stoimosti zhiznenno tsikla [Methodical recommendations on calculation of Life-Cycle Cost]. URL: [naiz.org/news/Podshivalenko.pdf](http://naiz.org/news/Podshivalenko.pdf).

10. Utilizatsiya rtut'sodershchashchikh otkhodov i lyuministsentnykh lamp. ООО "EkoLogika". URL: [ecologika-nn.ru/lampy](http://ecologika-nn.ru/lampy).