



ВОЛОГОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

---

# Энергоэффективность и энергосбережение в системах электроснабжения

к.т.н., доцент кафедры электроснабжения  
А.Н. Алюнов



---

## Лекция 4

# **Методы технико-экономического сравнения вариантов при выборе энергоэффективного электрооборудования**

# Классификация мероприятий по энергосбережению



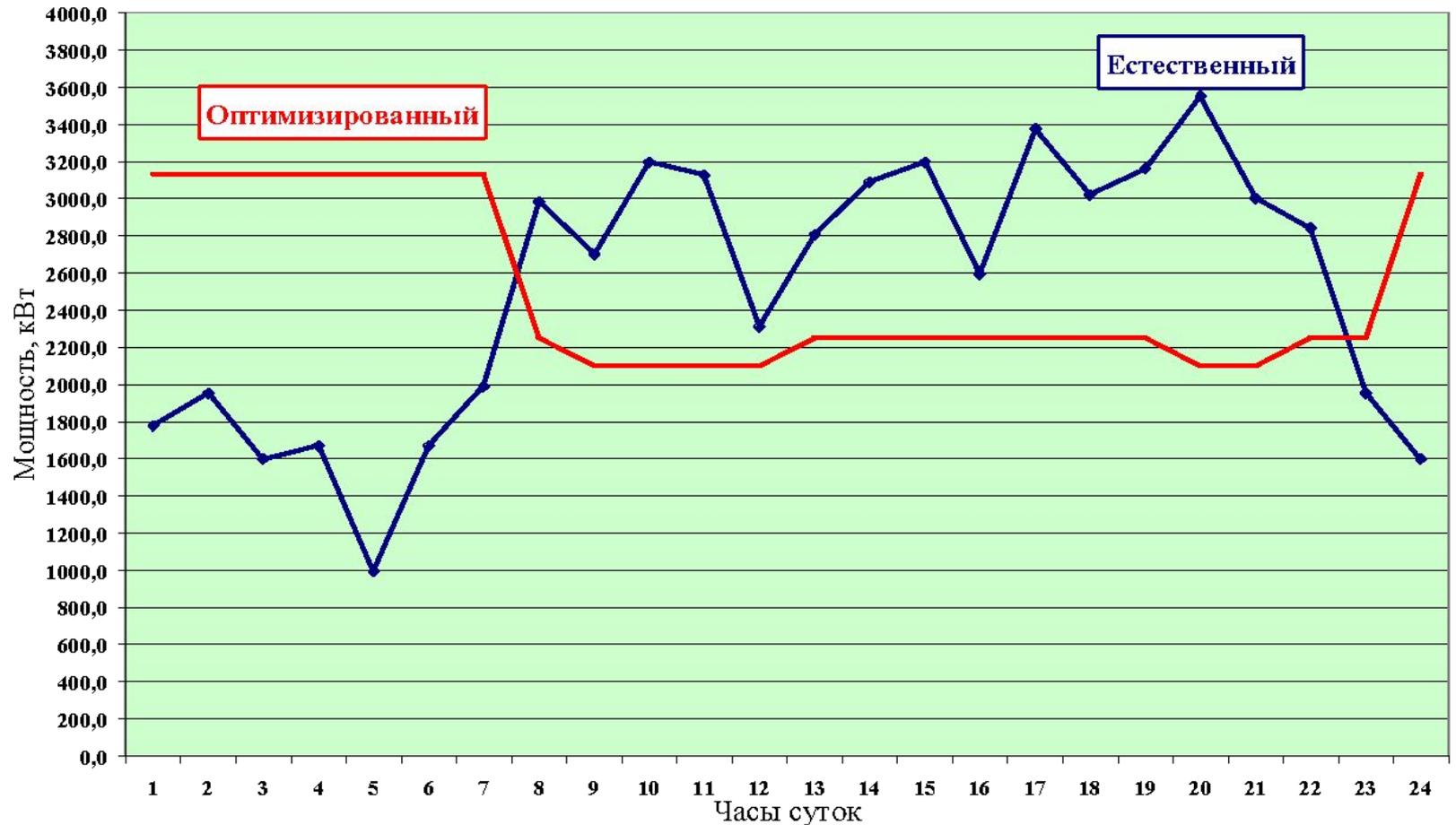


---

# Выбор оптимального тарифа на электроэнергию

# Оптимизация графика под дифференцированный тариф

Естественный и оптимизированный по дифференцированному тарифу график потребления  
Тепличного комбината



# Оптимизация графика под дифференцированный тариф

Часы суток	График относит.	Мощность, кВт*ч	Оплата по 1 ст.тарифу	Дифференцированный по зонам суток тариф, руб/кВт*ч			Оплата без изменения графика	Оптимальный график нагрузки с учетом ограничений потребления	Часовая оплата по тарифу	Экономия оплаты
				ночной	полупиковый	пиковый				Руб
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
00 - 01	0,5	1776,0	4276,6	1,8684			3318,3	3131,6	5851,2	-1574,5
01 - 02	0,55	1953,6	4704,3	1,8684			3650,1	3131,6	5851,2	-1146,9
02 - 03	0,45	1598,4	3848,9	1,8684			2986,5	3131,6	5851,2	-2002,2
03 - 04	0,47	1669,4	4020,0	1,8684			3119,2	3131,6	5851,2	-1831,1
04 - 05	0,28	994,6	2394,9	1,8684			1858,2	3131,6	5851,2	-3456,3
05 - 06	0,47	1669,4	4020,0	1,8684			3119,2	3131,6	5851,2	-1831,1
06 - 07	0,56	1989,1	4789,8	1,8684			3716,5	3131,6	5851,2	-1061,4
07 - 08	0,84	<b>2983,7</b>	7184,7		2,3319		6957,6	<b>2250</b>	5246,8	1937,9
08 - 09	0,76	<b>2699,5</b>	6500,4			2,9851	8058,3	<b>2100</b>	6268,7	231,7
09 - 10	0,9	<b>3196,8</b>	7697,9			2,9851	9542,8	<b>2100</b>	6268,7	1429,2
10 - 11	0,88	<b>3125,8</b>	7526,8			2,9851	9330,7	<b>2100</b>	6268,7	1258,1
11 - 12	0,65	<b>2308,8</b>	5559,6			2,9851	6892,0	<b>2100</b>	6268,7	-709,1
12 - 13	0,79	<b>2806,1</b>	6757,0		2,3319		6543,5	<b>2250</b>	5246,8	1510,3
13 - 14	0,87	<b>3090,2</b>	7441,3		2,3319		7206,1	<b>2250</b>	5246,8	2194,5
14 - 15	0,9	<b>3196,8</b>	7697,9		2,3319		7454,6	<b>2250</b>	5246,8	2451,1
15 - 16	0,73	<b>2593,0</b>	6243,8		2,3319		6046,5	<b>2250</b>	5246,8	997,1
16 - 17	0,95	<b>3374,4</b>	8125,6		2,3319		7868,8	<b>2250</b>	5246,8	2878,8
17 - 18	0,85	<b>3019,2</b>	7270,2		2,3319		7040,5	<b>2250</b>	5246,8	2023,5
18 - 19	0,89	<b>3161,3</b>	7612,4		2,3319		7371,8	<b>2250</b>	5246,8	2365,6
19 - 20	1	<b>3552,0</b>	8553,2			2,9851	10603,1	<b>2100</b>	6268,7	2284,5
20 - 21	0,845	<b>3001,4</b>	7227,5			2,9851	8959,6	<b>2100</b>	6268,7	958,8
21 - 22	0,8	<b>2841,6</b>	6842,6		2,3319		6626,3	<b>2250</b>	5246,8	1595,8
22 - 23	0,55	<b>1953,6</b>	4704,3		2,3319		4555,6	<b>2250</b>	5246,8	-542,5
23 - 00	0,45	1598,4	3848,9	1,8684			2986,5	3131,6	5851,2	-2002,2
Потребление суточное		<b>60153,1</b> кВт*ч	<b>144848,7</b> Руб				<b>145812,2</b> Руб	<b>60153,1</b> кВт*ч	136889,3	<b>7959,5</b>
									Экономия в месяц	<b>238 784</b>
									Экономия в год	<b>2 865 403</b>
									Эффект	<b>5,5</b>



---

# Экономия в системах электропривода

# Выбор энергоэффективного электродвигателя

---

Годовой экономический эффект

$$\dot{Y}_{\tilde{A}} = T \cdot N \cdot C_0 \cdot \left( \frac{P_2 \cdot 100}{\eta_2} - \frac{P_1 \cdot 100}{\eta_1} \right)$$

Срок окупаемости энергоэффективного варианта

$$T_{OK} = \frac{\tilde{N}_2 - \tilde{N}_1}{\dot{Y}_{\tilde{A}}}$$

где  $\dot{Y}_{\tilde{A}}$  – годовой экономический эффект, руб/год;

$P_1, P_2$  и  $\eta_1, \eta_2$  – мощности, кВт и КПД, % электродвигателей 1 и 2 вариантов, соответственно;

$T_{OK}$  – срок окупаемости более экономичного варианта, лет;

$C_1$  и  $C_2$  – стоимости электродвигателей с учетом транспортных расходов и расходов на монтажные работы для 1 и 2 вариантов, соответственно.

# Выбор энергоэффективного электродвигателя

Наименование параметра	Вариант №1	Вариант №2
Мощность электродвигателя $P$ , кВт	55	55
Цена электродвигателя $C$ , руб	54327	56327
КПД электродвигателя $\eta$ , %	92,5	94,5
Время работы за день $T$ , час	8	8
Количество рабочих дней в году $N$	250	250
Стоимость 1 кВтч $C_0$ , руб	3	

Ежегодная экономия от принятого варианта составит **7550 руб/год**, а срок окупаемости – **около 3 месяцев**.

# Эффект от регулирования скорости вращения электропривода

Принцип регулирования	Достоинства	Недостатки
<p><b>Напорной или приемной задвижкой</b></p> <p><math>\omega_{уд} = 0,00272 * H / \eta_{нас} * \eta_{дв}</math></p>	<p>1. Регулирование подачи</p>	<p>1. Уменьшается КПД насоса</p> <p>2. Быстро растет удельный расход электроэнергии</p>
<p><b>Изменением числа параллельно работающих насосов</b></p>	<p>1. Регулирование подачи</p>	<p>1. Низкий коэффициент использования насосов</p> <p>2. Ступенчатое регулирование подачи</p> <p>3. Увеличение стоимости системы</p>
<p><b>Частотное регулирование</b></p> <p>Подача зависит от <math>G = G_0 * n/n_0</math></p> <p>Напор зависит от <math>H = H_0 * (n/n_0)^2</math></p> <p>Мощность двигателя зависит от <math>P = G * H</math></p> <p>Мощность двигателя зависит от <math>P = G_0 * H_0 = P_0 * (n/n_0)^3</math></p>	<p>1. Плавное регулирование подачи</p> <p>2. Снижение удельного расхода электроэнергии</p> <p>3. Автоматическое поддержание давления в трубопроводе</p> <p>4. Снижение потерь воды за счет уменьшения давления</p> <p>5. Увеличение срока службы насосов</p> <p>6. Увеличение срока службы трубопроводов</p>	<p>1. Приобретение и установка преобразователя частоты</p>

## Технико-экономическое обоснование применения преобразователя частоты (ПЧ)

1. Расчет экономии электроэнергии при регулировании скорости вращения насоса

Подача	График работы		Регулирование задвижкой		Регулирование скоростью вращения	
	G	Время	Мощность	Эл. энергия	Мощность	Эл. энергия
м <sup>3</sup> /ч	%	Час	кВт	кВт*ч	кВт	кВт*ч
350	5	438	42,5	18615	42,5	18615
300	15	1314	38,5	50589	29	38106
250	20	1752	35	61320	18,5	32412
200	20	1752	31,5	55188	11	19272
150	20	1752	28	49056	6,5	11388
100	20	1752	23	40296	3,5	6132
<b>Сумма</b>	<b>100</b>	<b>8760</b>		<b>275064</b>		<b>125925</b>

# Технико-экономическое обоснование применения преобразователя частоты (ПЧ)

## 2. Расчет экономии электроэнергии от уменьшения потерь электроэнергии

Подача	Время работы	Регулирование задвижкой				Регулирование скоростью с ПЧ			
		P	$\eta$	$\Delta P$	$\Delta W$	P	$\eta$	$\Delta P$	$\Delta W$
G		кВт	%	кВт	кВт*ч	кВт	%	кВт	кВт*ч
м <sup>3</sup> /ч	Час								
350	438	42,5	90	4,7	2058,6	42,5	86	6,9	3022,2
300	1314	38,5	90	4,3	5650,2	29	85	5,1	6701,4
250	1752	35	90	3,9	6832,8	18,5	84	3,5	6132
200	1752	31,5	90	3,5	6132	11	79	2,7	4730,4
150	1752	28	90	3,1	5431,2	6,5	74	2,3	4029,6
100	1752	23	90	2,6	4555,2	3,5	70	1,5	2628
<b>Сумма</b>	<b>8760</b>				<b>30660</b>				<b>27243,6</b>

# Технико-экономическое обоснование применения преобразователя частоты (ПЧ)

---

Годовая экономия электроэнергии может составить:

$$W = \text{Снижение потребления}(275064 - 125925) + \text{снижение потерь}(30660 - 27243,6) = 152555,4 \text{ кВт*ч, или } 49,9 \%$$

В денежном выражении при одноставочном тарифе (2008 год) 2,408 руб/кВт\*ч годовая экономия может составить:

$$Э = W * b = 152555,4 * 2,408 = 367353,4 \text{ руб.}$$

3. Выбор преобразователя частоты по мощности из условия:

$$P_{пч} = (1,1 \div 1,2) P_n$$

$$P_{пч} = 1,2 * 42,5 = 51 \text{ кВт}$$

Выбираем преобразователь частоты фирмы **Danfoss VLT 6000 HVAC IP-20**, мощностью 55 кВт, стоимостью 300 тыс. руб.

Срок окупаемости проекта с учетом проектных работ и СМР составит

$$T_{ок} = K / Э;$$

$$T_{ок} = (1,5 * 300000) / 367353,4 = 1,225 \text{ года}$$

# Технико-экономическое сравнение вариантов электроснабжения

Приведённые затраты определяются по формуле

$$Z_{\Sigma} = (E + Na) \cdot K_{\text{КТП}} + I_{\text{п.КТП}} + I_{\text{обсл.КТП}} + Y, \text{ тыс.руб,}$$

где **E** – нормативный коэффициент экономической эффективности ( $E=0,16$ );

**K<sub>КТП</sub>** – полные капитальные затраты с учетом стоимости оборудования и монтажных работ;

**I<sub>п.КТП</sub>** – стоимость потерь электроэнергии;

**Na** – норма амортизационных отчислений ( $Na=0,035$ );

**I<sub>обсл.КТП</sub>** – затраты на обслуживание.

$$K_{\text{КТП}} = C_0 (1 + \sigma_T + \sigma_C + \sigma_M), \text{ тыс.руб,}$$

$$I_{\text{п.тр.}} = C_0 \cdot (N_{\text{тр}} \cdot \Delta P_{\text{хх}} \cdot T_{\text{г}} + k_{\text{з2}} \cdot \Delta P_{\text{кз}} \cdot \tau \cdot N_{\text{тр}}), \text{ тыс. руб}$$

$$I_{\text{обсл}} = (N_{\text{обсл}} + N_{\text{рем}}) \cdot K_{\text{н}}, \text{ тыс. руб}$$

# Технико-экономическое сравнение вариантов электроснабжения

Параметр	Ед. изм.	Вариант 1	Вариант 2
		2x ТМ-250	2x ТМ-400
$K_3$	–	0,800	0,500
$\Delta P_{XX}$	кВт	0,550	0,830
$\Delta P_{K3}$	кВт	3,700	5,500
$NP_{XX} T$	кВтч	9636,000	14541,600
$NP_{K3} K_3^2 T$	кВтч	9321,214	5412,445
$W$	кВтч	18957,214	19954,045
$I_{\text{пот.тр}}$	тыс. руб.	75,829	79,816
$K_{\text{КТП}}$	тыс. руб.	326,250	416,250
$I_{\text{обсл.тр}}$	тыс. руб.	12,724	16,234
$Z$	тыс. руб.	152,171	177,219

# Определение сечения кабеля по приведенным затратам

Определение сечений проводов и кабелей по приведенным затратам

## Шаг 3 из 3. Результаты расчета

Сечение, мм <sup>2</sup>	Сопротивление линии, Ом	Годовые потери электроэнергии, тыс.кВт·ч	Стоимость потерь электроэнергии, тыс.руб./год	Стоимость проводникового материала, тыс.руб.	Стоимость трассы (траншеи), тыс.руб.	Всего капиталовложений, тыс.руб.	Норма дисконта, о.е.	Норма затрат на обл., амортизац., реновацию, о.е.	Годовая доля капиталовложений, тыс.руб./год	Годовые затраты, тыс.руб./год
70	1.863	358.1	1074.3	2385	6930	9315	0.095	0.09	1723.3	2797.6
95	1.3725	263.8	791.4	2520	6930	9450	0.095	0.09	1748.3	2539.7
120	1.089	209.3	627.9	2686.5	6930	9616.5	0.095	0.09	1779.1	2407
150	0.8685	166.9	500.7	2776.5	6930	9706.5	0.095	0.09	1795.7	2296.4
185	0.7065	135.8	407.4	2871	6930	9801	0.095	0.09	1813.2	2220.6
240	0.5445	104.7	314.1	3420	6930	10350	0.095	0.09	1914.8	2228.9

Минимальные затраты 2220.6 тыс. руб./год достигаются при сечении проводника равном 185 мм<sup>2</sup>.

# Калькуляция себестоимости 1 кВт·час электроэнергии

№ п/п	Показатели и статьи расходов	Единица измерения	Величина показателя	Примечание
1	Количество электроэнергии из системы	тыс.кВт·час	90368.85	По счетчику
2	Расход электрической энергии на СН	тыс.кВт·час	3978.22	По счетчику или расчет
3	Расход электрической энергии на потери	тыс.кВт·час	850	Расчет потерь ЭЭ
4	Годовая оплата за получаемую электроэнергию	тыс.руб	306282.11	По счетам на оплату
5	Годовые эксплуатационные расходы	тыс.руб	235.338	Расчет издержек
6	Количество электроэнергии переданное на производственные нужды и освещение	тыс.кВт·час	85540.63	п.1-п.2-п.3
7	Всего годовых затрат	тыс.руб	306517.4	п.4+п.5
8	Внутризаводская себестоимость 1 кВт·ч потребляемой	руб/кВт·час	3.58	п.7/п.6 <sup>17</sup>

# Расчет срока окупаемости мероприятий по энергосбережению

---

Срок окупаемости определяется по формуле:

$$\dot{O}_{i\dot{e}} = \frac{D_i}{\sum \frac{\ddot{I} \delta_i + A}{\ddot{A}_i}}$$

где  $P_H$  – сметная стоимость капитальных вложений;  
 $\ddot{P}ri$  – прибыль  $i$ -го года;  
 $A$  – амортизационные отчисления;  
 $D_i$  – дисконта  $i$ -го года (9.5 %).

# Расчет срока окупаемости мероприятий по энергосбережению

Пример: Капитальные вложения по смете составляют:  $P_H = 1500000$  руб.

Ежегодная доля прибыли, направляемая на возврат кредитору за год составляет:  $Pr = 300000$  руб/год.

Ставка: 9.5%

Порядковый номер года	Доля прибыли на обслуживание ссуды, руб.	Амортизационные отчисления, руб.	Ставка дисконтирования, %	Оплата процентов, руб.	Остаток ссуды, руб.
1	300000	0	9.5	142500	1342500
2	300000	0	9.5	127537,5	1170037,5
3	300000	0	9.5	111153,56	981191,06
4	300000	0	9.5	93213,15	774404
5	300000	0	9.5	73568,38	545122,38
6	300000	0	9.5	51786,62	296909,00
7	300000	0	9.5	28206,36	25115,36
8	27501,32	0	9.5	2385,96	0

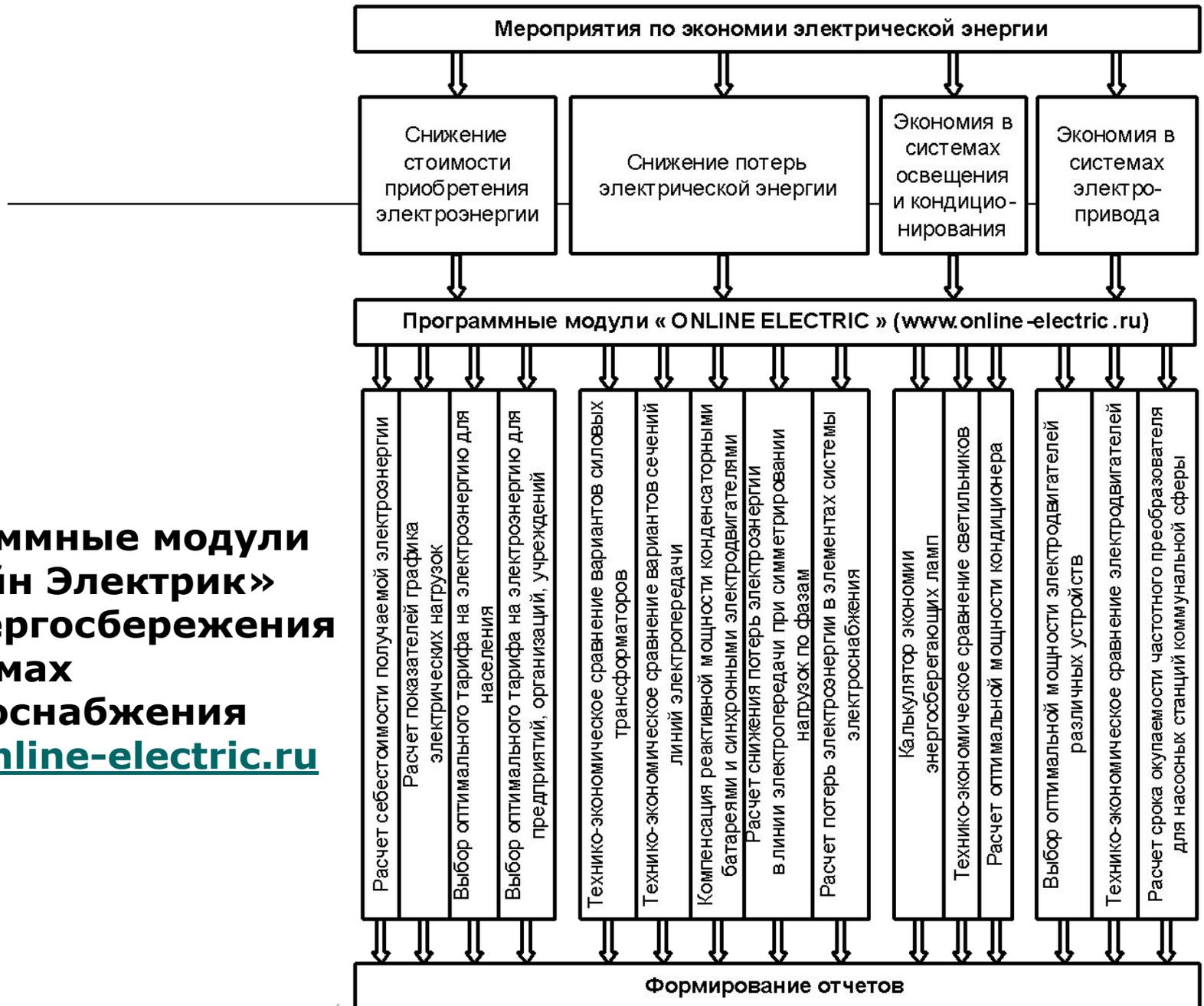
Таким образом, срок окупаемости Ток составит 7 лет и 1 месяц.



---

# Программное обеспечение для расчетов энергосбережения в системах электроснабжения

**Программные модули  
«Онлайн Электрик»  
для энергосбережения  
в системах  
электрообеспечения  
[www.online-electric.ru](http://www.online-electric.ru)**



# Преимущества SaaS

---

- не нужно приобретать и устанавливать прикладные программы на компьютер;
- имеется возможность подключения к системе из любой точки планеты;
- пользователю нет необходимости отслеживать и постоянно обновлять версии программного обеспечения;
- отчеты с предоставлением используемых формул позволяют убедиться в достоверности расчетов.

# СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

---

1. Железко Ю.С., Артемьев А.В., Савченко О.В. Расчет, анализ и нормирование потерь электроэнергии в электрических сетях: Руководство для практических расчетов, - М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2003.- 280 .: ил.
2. Методика ФЭК, утвержденная Постановлением ФЭК РФ 17.03.2000 № **14/10** «Об утверждении нормативов технологического расхода электрической энергии (мощности) на ее передачу (потерь), принимаемую для целей расчета и регулирования тарифов».
3. Методика расчета нормативов потерь электрической энергии в электрических сетях (утверждена приказом Минпромэнерго РФ от 03.02.2005 №**21**)
4. Методика расчета нормативных технологических потерь электроэнергии при ее передаче по электрическим сетям в базовом периоде (утверждена приказом Минпромэнерго РФ от 04.10.2005 №**267**)
5. Методика расчета нормативных технологических потерь электроэнергии при ее передаче по электрическим сетям в базовом периоде (утверждена приказом Минэнерго РФ от 30.12.2008 №**326**)
6. Промышленная энергетика, № 4, 2006.: Некоторые аспекты экономической работы силовых трансформаторов./ Заугольников В. Ф., канд. техн. наук, Балабин А. А., Савинков А. А., инженеры РСК ОАО "Орелэнерго"
7. Новости электротехники, №1(31), 2005: Симметрирующее устройство для трансформаторов. Средство стабилизации напряжения и снижения потерь в сетях 0,4 кВ. / Анатолий Сердешнов, к.т.н., Иван Протосовицкий, к.т.н., Юрий Леус, Петр Шумра, БАТУ, г. Минск, Беларусь.

# Список источников

---

8. Приказ Минпромэнерго РФ от 22.02.2007 № 49.: «О ПОРЯДКЕ РАСЧЕТА ЗНАЧЕНИЙ СООТНОШЕНИЯ ПОТРЕБЛЕНИЯ АКТИВНОЙ И РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ ДЛЯ ОТДЕЛЬНЫХ ЭНЕРГОПРИНИМАЮЩИХ УСТРОЙСТВ (ГРУПП ЭНЕРГОПРИНИМАЮЩИХ УСТРОЙСТВ) ПОТРЕБИТЕЛЕЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ, ПРИМЕНЯЕМЫХ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОБЯЗАТЕЛЬСТВ СТОРОН В ДОГОВОРАХ ОБ ОКАЗАНИИ УСЛУГ ПО ПЕРЕДАЧЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ (ДОГОВОРАХ ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ)»
9. Проект «Методические указания по расчету повышающих (понижающих) коэффициентов к тарифам на услуги по передаче электрической энергии в зависимости от соотношения потребления активной и реактивной мощности для отдельных энергопринимающих устройств (групп энергопринимающих устройств) потребителей электрической энергии, применяемых для определения обязательств сторон в договорах об оказании услуг по передаче электрической энергии (договорах энергоснабжения или купли-продажи (поставки) электрической энергии) », ФСТ, 2008 г.
10. Прайс-лист на изделия для энергосбережения ООО «ЭЛПРИ», г. Чебоксары, 1.06.2007.
11. ПРАЙС ЛИСТ от 12.04.2006 г. ЗАО "МАТИК ЭЛЕКТРО" 125190 г. Москва. а/я 53. Походный проезд, дом 4, корп. 1 оф. 7 тел. (495) 223-66-79 - многоканальный, факс (495) 223-66-14, моб. (495) 740-06-90 sales@matic.ru, [www.matic.ru](http://www.matic.ru).
12. Экономия энергоресурсов в промышленных технологиях. Справочно-методическое пособие / Авторы-составители: Г.Я. Вагин, Л.В. Дудникова, Е.А. Зенютич, А.Б. Иоскутов, Е.Б. Солнцев; под ред. С.К. Сергеева; НГТУ, НИЦЭ – Новгород, 2001. -296 с.
13. Справочник по проектированию электрических сетей / под ред. Д.Л. Файбисовича. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: ЭНАС, 2012.- 376 с.: ил.
14. Онлайн Электрик: Интерактивные расчеты систем электроснабжения. – 2008 [Электронный ресурс]. Доступ для зарегистрированных пользователей. – URL: <http://www.online-electric.ru> (дата обращения: 24.12.2013).