

УДК 620.09:33(07)

## ЭКОНОМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРЕДПОЧТИТЕЛЬНОЙ СХЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПРЕДПРИЯТИЯ

<sup>1</sup>Борисов С.А., <sup>1</sup>Григорьев П.В., <sup>2</sup>Кабанов С.С., <sup>1</sup>Плеханова А.Ф.

<sup>1</sup>ФГБОУ ВПО «Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева», Нижний Новгород, e-mail: ser211188@yandex.ru;

<sup>2</sup>ФГБОУ ВПО «Российская академия народного хозяйства и государственной службы при Президенте Российской Федерации», Нижегородский филиал, Нижний Новгород, e-mail: micromms@yandex.ru

Выбор схемы электроснабжения предприятия является важнейшей технико-экономической задачей, так как от правильности выбора зависит функционирование большинства систем предприятия и удовлетворенность потребителей электрической энергии. В настоящей статье рассматривается необходимость учета экономических характеристик при выборе наиболее предпочтительной схемы электроснабжения и порядок расчета технико-экономических показателей схемы. Для выбора наиболее предпочтительной схемы электроснабжения авторами используется подход, основанный на определении приведенных годовых затрат, рассчитываются различные элементы приведенных годовых затрат, включая капитальную и эксплуатационную составляющие. Обосновывается, что необходимо в тесной взаимосвязи использовать технические и экономические показатели при выборе наиболее эффективной схемы электроснабжения. Показано, как проводить комплексное технико-экономическое сравнение схем электроснабжения и определять наиболее предпочтительный вариант электроснабжения.

**Ключевые слова:** технико-экономическое обоснование, электроснабжение, приведенные годовые затраты, экономичность, нормы амортизации электрического оборудования

## ECONOMIC ASPECTS OF THE PREFERRED SUPPLY COMPANY

<sup>1</sup>Borisov S.A., <sup>1</sup>Grigorev P.V., <sup>2</sup>Kabanov S.S., <sup>1</sup>Plekhanova A.F.

<sup>1</sup>Nizhny Novgorod State Technical University n.a. R.E. Alekseev, Nizhny Novgorod, e-mail: ser211188@yandex.ru;

<sup>2</sup>Russian Academy of national economy and public administration under the President of the Russian Federation, Nizhny Novgorod branch, Nizhny Novgorod, e-mail: micromms@yandex.ru

The choice of power supply enterprises is an important technical and economic task, since the correct choice depends on the functioning of most systems of enterprise and satisfaction of consumers of electric energy. In this article, the necessity of taking into account the economic characteristics in selecting the most preferred scheme of power supply and the calculation of technical and economic indicators of the scheme. To select the preferred power supply circuit of the authors used an approach based on determining the annual costs, calculated the various elements of the annual cost, including capital and operating components. It is argued that it is necessary in a close relationship to use technical and economic indicators when choosing the most effective scheme of power supply. Shows how to conduct a comprehensive techno-economic comparison of power supply circuits and to determine the most preferred option of power supply.

**Keywords:** feasibility study, electricity, given the annual costs, profitability, depreciation charges for electrical equipment

При выборе наиболее предпочтительной схемы электроснабжения необходимо учитывать следующие технико-экономические параметры: потребляемая мощность, характер электрических нагрузок, особенности производства, экономичность, безопасность, обеспечение необходимого качества электроэнергии у приемников и возможность дальнейшего развития сети. Экономичность сети характеризуется стоимостными показателями (приведенными затратами). В статье рассматривается методика расчета приведенных годовых затрат на схему электроснабжения на примере станкостроительного завода и даются рекомендации о выборе конкретной схемы на основании произведенных расчетов.

В статье рассматривается выбор схемы электроснабжения для станкостроительного завода, который относится к предприятиям средней установленной мощности (то есть мощность предприятия находится в пределах от 5 до 75 МВт). В связи с этим принимаем схему электроснабжения с одним приемным пунктом электроэнергии (ГПП). Ввиду наличия потребителей I категории по степени бесперебойности питания предусматриваем секционирование шин приемного пункта и питание каждой секции по отдельной линии. При построении схемы электроснабжения исходим из принципа максимально возможного приближения высшего напряжения к электроустановкам потребителей и применения минимального

количества ступеней промежуточной трансформации. Резервирование питания для отдельных категорий потребителей заложено в самой схеме электроснабжения. Для этого все элементы схемы (линии, трансформаторы, аппаратура) несут в нормальном режиме постоянную нагрузку, а в послеаварийном режиме (после отключения поврежденных участков) принимают на себя питание оставшихся в работе потребителей с учетом допустимых для этих элементов нагрузок. При секционировании всех звеньев системы электроснабжения, начиная от шин ГПП, предусмотрена установка на них системы АВР (автоматического ввода резерва) для повышения надежности питания. При этом в нормальном режиме работы обеспечивается раздельная работа элементов системы электроснабжения, что снижает уровень токов короткого замыкания, облегчает и удешевляет коммутационную аппаратуру и упрощает релейную защиту. Мощность трансформаторов ГПП составляет 25 МВА. По способу присоединения понизительной подстанции к питающей линии она является тупиковой. Поэтому

РУ-110 кВ ГПП выполняется по схеме «два блока линия-трансформатор с выключателями и неавтоматической перемычкой со стороны ЛЭП». Эта схема более надежна в эксплуатации, чем схема с отделителями и короткозамыкателями, особенно в зимнее время. Перемычка позволяет сохранить в работе оба трансформатора при повреждении одной из питающих линий, а также обеспечить питание ГПП на время ревизии или ремонта силового трансформатора [1]. Схема ГПП 110 кВ представлена на рис. 1.

На стороне 10 кВ ГПП применяем схему: «одна рабочая секционированная выключателем система шин». Она наиболее проста, но в то же время обеспечивает бесперебойное питание потребителей при исчезновении напряжения на одном из трансформаторов от другого через секционный выключатель. Для питания потребителей предприятия используем радиальную схему. Нагрузку 0,4 кВ производственных цехов запитываем от трансформаторных подстанций (ТП).

Технико-экономический расчет производится для двух вариантов построения схемы электроснабжения (рис. 2, 3) [3].

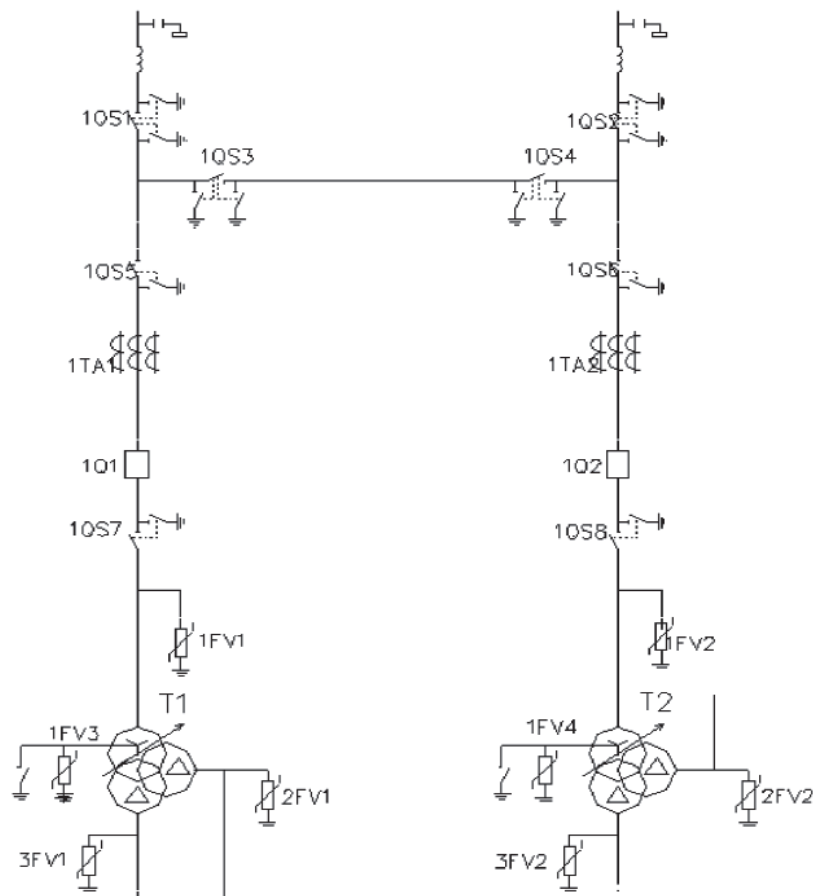


Рис. 1. Схема РУ-110 кВ ГПП

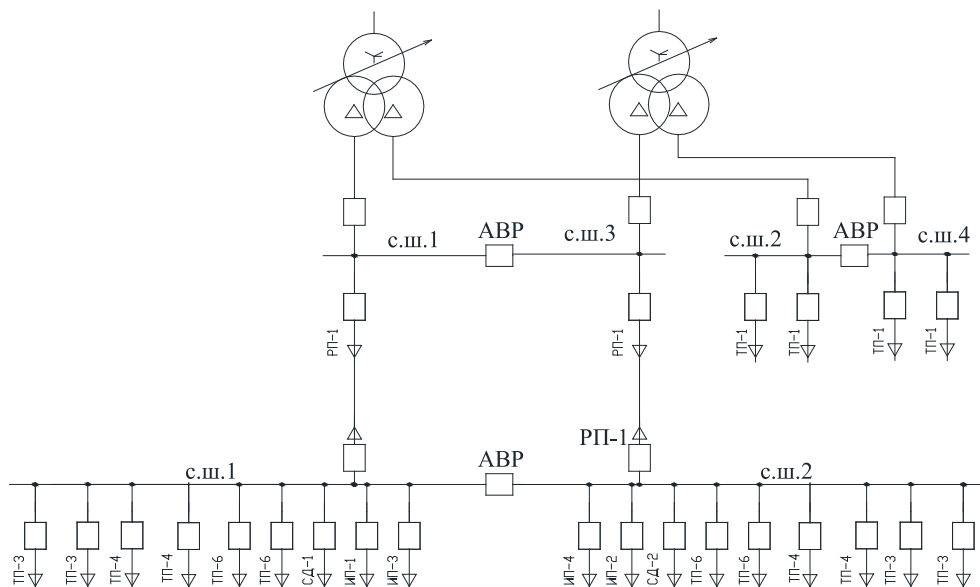


Рис. 2. Схема электроснабжения. Вариант 1

**Вариант 1.** Предусматривается питание ТП-3 (4×1600 кВА), ТП-4 (4×630 кВА), ТП-6 (4×1600кВА) и высоковольтных потребителей цеха № 3 и цеха № 11 от РУ 10 кВ РП-1 кабелем марки АПвВнг, проложенным в траншее. Питание ТП-1 (4×1000 кВА) осуществляется непосредственно от шин 10 кВ ГПП (рис. 2).

Достоинства первого варианта:

- уменьшение расхода высоковольтного кабеля;
- использование свободной, незанятой территории предприятия.

**Основным недостатком** является увеличение времени действия релейной защиты.

**Вариант 2.** Предусматривается питание ТП-3 (4×1600 кВА), ТП-6 (4×1600 кВА) и высоковольтных потребителей цеха № 3 от РУ 10 кВ ГПП кабелем марки АПвВнг, проложенным в траншее. Питание ТП-1 (4×1000 кВА), ТП-4 (4×630 кВА) и высоковольтных потребителей цеха № 11 осуществляется от шин 10 кВ РП-2 кабелем марки АПвВнг, проложенным в траншее (рис. 3).

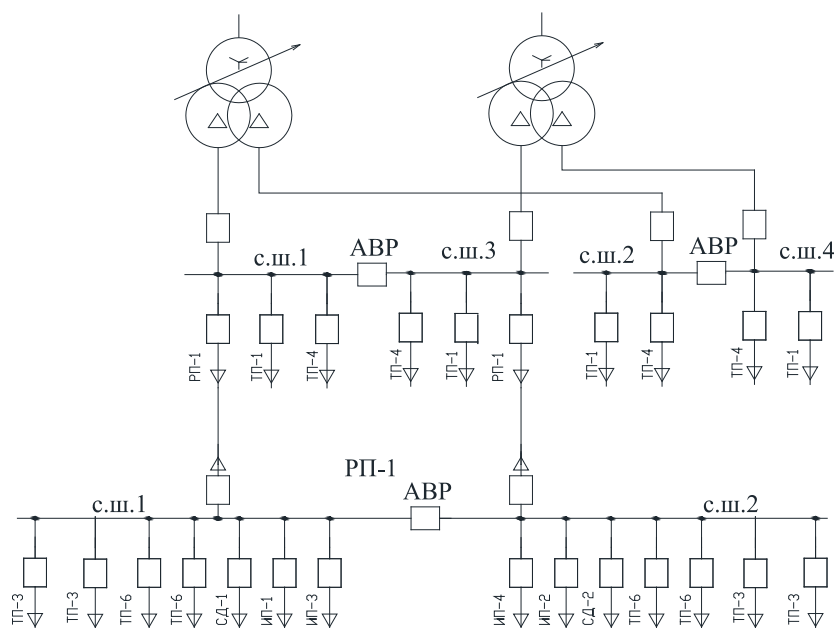


Рис. 3. Схема электроснабжения. Вариант 2

Достоинства второго варианта:

– уменьшение количества ячеек на ГПП;

Недостатки:

– дополнительные монтажные работы;

– увеличение времени действия релейной защиты.

Наиболее экономичным решением выбора варианта схемы электроснабжения будет вариант, отвечающий требованиям и имеющий наименьшие годовые приведенные затраты. При сравнении вариантов учитываются только те элементы, которые отличаются.

Технико-экономические обоснования базируются в общем случае на методических рекомендациях по оценке эффективности инвестиционных проектов, т.е. главным критерием оценки таких проектов является максимум эффекта [4]:

$$\text{Эт} = \text{Рт} - \text{Зт} = \text{Max}, \quad (1)$$

где Рт – доходы (выгоды) по проекту; Зт – приведенные годовые затраты по проекту.

Однако данные проекты характеризуются тем, что выгоды по ним, которые определяются как произведение объемов сбываемой продукции на ее цену, не изменяются, т.е. Рт = const. Это объясняется тем, что конечный результат определяют технологи, а не проектировщики систем электроснабжения предприятий.

Таким образом, при постоянстве полезного результата максимум эффекта будет при минимуме затрат по проекту, т.е.

$$\text{Зт} = \text{Min}. \quad (2)$$

Если предположить, что по годам затраты также будут неизменными, то критерий сравнительной экономической эффективности принимает вид

$$\text{З} = r \cdot K + C, \quad (3)$$

где К – капитальные затраты сравниваемых вариантов электроснабжения, руб.; r – ставка дисконтирования капитальных затрат (реальная процентная ставка); С – годовая себестоимость производства или эксплуатации, руб./год.

По старым методикам вместо r принимался параметр  $E_n$ , который назывался нормативным коэффициентом эффективности капитальных вложений и нормировался. Это было справедливо для условий стабильной плановой экономики и неприменимо для условий рыночной.

Применительно к вариантам электроустановок формулу (3) целесообразно преобразовать и представить в следующем виде:

$$\text{З} = p \cdot K + C_3, \quad (4)$$

где  $C_3$  – стоимость годовых потерь электроэнергии; К – капитальные вложения; p – суммарный коэффициент отчислений от капитальных затрат:

$$p = r + p_a + p_0, \quad (5)$$

где  $p_a$  – годовая норма амортизации;  $p_0$  – коэффициент отчислений на ремонт и обслуживание; r – реальная процентная ставка.

$$r = \frac{E_n - b}{1 + b} = \frac{0,22 - 0,09}{1 + 0,09} = 0,12 \text{ 1 / год},$$

где  $E_n = 22\%$  1/год – процентная ставка кредитования банка; b = 9% – уровень инфляции на момент производства расчетов.

Коэффициенты отчислений для разных элементов схемы электроснабжения сводим в табл. 1 [2].

Затраты на потери электроэнергии в элементах электрической сети:

$$C_3 = \Delta P_M \cdot \tau_* \cdot \gamma, \quad (6)$$

где  $\Delta P_M$  – максимальные потери активной мощности, кВт;  $\tau_*$  – относительное время использования максимума потерь.

$$\tau_* = 0,7 \frac{T_M}{T_r} \quad \text{при} \quad \frac{T_M}{T_r} \leq 0,7;$$

$$\tau_* = \frac{T_M^2}{T_r^2} \quad \text{при} \quad \frac{T_M}{T_r} > 0,7.$$

Таблица 1

Коэффициенты отчислений для различных элементов системы электроснабжения

| Элементы системы электроснабжения | Значения коэффициентов, доли ед. |       |      |                     |
|-----------------------------------|----------------------------------|-------|------|---------------------|
|                                   | $p_a$                            | $p_0$ | r    | $p = p_a + p_0 + r$ |
| Кабельные линии 10 кВ в траншее   | 0,03                             | 0,015 | 0,12 | 0,165               |
| Оборудование РУ-10 кВ             | 0,063                            | 0,01  | 0,12 | 0,193               |

Годовое число часов работы  $T_\Gamma$  и число часов использования максимума активной нагрузки  $T_M$  выбираем согласно ПУЭ:

$$T_M = 3560 \text{ ч/год};$$

$$T_\Gamma = 3660 \text{ ч/год};$$

$$\frac{T_M}{T_\Gamma} = \frac{3560}{3660} = 0,97; \quad \tau_* = \frac{3560^2}{3660^2} = 0,94 \text{ о.е.},$$

$\gamma$  – стоимость 1 кВт·года потерь электроэнергии, руб./кВт·год):

$$\gamma = T_\Gamma \cdot \left( \frac{\alpha}{T_M} + \beta \right), \quad (7)$$

где  $\alpha$ ,  $\beta$  – основная и дополнительная ставки двухставочного тарифа, в расчетах принято [5]:

$$\alpha = 794,23 \text{ руб./кВт·мес.};$$

$$\beta = 1,26 \text{ руб./кВт·ч};$$

$$\gamma = 3660 \cdot \left( \frac{794,23 \cdot 12}{3560} + 1,26 \right) = 14300,28 \text{ руб./кВт·год.}$$

Максимальные потери активной мощности для различных элементов электроустановок определяются следующим образом.

Для проводов и кабелей:

$$\Delta P_M = 3 \cdot R \cdot I_M^2 = R \cdot \frac{S_M^2}{U^2}, \quad (8)$$

где  $R$  – сопротивление линии, Ом,

$$R = r_0 \cdot L, \quad (9)$$

где  $r_0$  – удельное сопротивление кабеля, Ом/км;  $L$  – длина линии, км;  $I_M$  – максимальный ток, А;  $S_M$  – максимальная полная нагрузка (мощность), кВА;  $U$  – напряжение сети.

Результаты расчетов по вариантам сводим в табл. 2 и 3.

**Таблица 2**

Определение приведенных затрат на сооружение системы электроснабжения (вариант 1)

| Назначение       | Элемент схемы электро-снабжения | $K_p$ , тыс. руб/км | $L$ , км | ( $N$ , шт.) | $K = K_i \cdot N \cdot L$ , тыс. руб. | $p$ , 1/год | $pK$ , тыс. руб./год | $r_0$ , Ом/км | $I_{p\max}$ , А | $\Delta P_M$ , кВт | $\gamma$ , тыс. руб./кВт | $C_p$ , тыс. руб. | $Z = pK + C_p$ , тыс. руб. |
|------------------|---------------------------------|---------------------|----------|--------------|---------------------------------------|-------------|----------------------|---------------|-----------------|--------------------|--------------------------|-------------------|----------------------------|
| ГПП-РП1          | Кабель АПВВнг (3×240) в траншее | 2000                | 0,54     | 2            | 2160,00                               | 0,165       | 356,40               | 0,157         | 254,61          | 32,98              | 14,3                     | 325,38            | 681,78                     |
| РП1-ТП3 (4×1600) | Кабель АПВВнг (3×95) в траншее  | 1100                | 0,12     | 4            | 528,00                                | 0,165       | 87,12                | 0,17          | 60,97           | 0,91               | 14,3                     | 8,98              | 96,10                      |
| РП1-ИП (4×400)   | Кабель АПВВнг (3×95) в траншее  | 1100                | 0,12     | 4            | 528,00                                | 0,165       | 87,12                | 0,17          | 15,24           | 0,06               | 14,3                     | 0,56              | 87,68                      |
| РП1-ТП4 (4×630)  | Кабель АПВВнг (3×95) в траншее  | 1100                | 0,05     | 4            | 220,00                                | 0,165       | 36,30                | 0,17          | 24,01           | 0,06               | 14,3                     | 0,58              | 36,88                      |
| РП1-СД (2×630)   | Кабель АПВВнг (3×95) в траншее  | 1100                | 0,05     | 2            | 110,00                                | 0,165       | 18,15                | 0,17          | 24,01           | 0,03               | 14,3                     | 0,29              | 18,44                      |
| РП1-ТП6 (4×1600) | Кабель АПВВнг (3×95) в траншее  | 1100                | 0,17     | 4            | 748,00                                | 0,165       | 123,42               | 0,17          | 60,97           | 1,29               | 14,3                     | 12,72             | 136,14                     |
| ГПП-ТП1 (4×1000) | Кабель АПВВнг (3×95) в траншее  | 1100                | 0,68     | 4            | 2992,00                               | 0,165       | 493,68               | 0,17          | 43,30           | 2,60               | 14,3                     | 25,66             | 519,34                     |
| Итого:           |                                 |                     |          |              |                                       |             | 845,79               |               |                 | 4,95               |                          | 48,79             | 894,58                     |

Таблица 3

Определение приведенных затрат на сооружение системы электроснабжения (вариант 2)

| Назначение       | Элемент схемы электроснабжения  | $K_f$ , тыс. руб./км | $L$ , км | ( $N$ , шт.) | $K = K_f \cdot N \cdot L$ , тыс. руб. | $p$ , 1/год | $p \cdot K$ , тыс. руб./год | $r_{\phi}$ , Ом/км | $I_{p, \max}$ , А | $\Delta P_m$ , кВт | $\gamma$ , тыс. руб./кВт | $C_3$ , тыс. руб. | $Z = p \cdot K + C_3$ , тыс. руб. |
|------------------|---------------------------------|----------------------|----------|--------------|---------------------------------------|-------------|-----------------------------|--------------------|-------------------|--------------------|--------------------------|-------------------|-----------------------------------|
| ГПП-РП2          | Кабель АПВВнг (3×240) в траншее | 2000                 | 0,68     | 2            | 2720,00                               | 0,165       | 448,80                      | 0,157              | 214,20            | 29,39              | 14,3                     | 289,98            | 738,78                            |
| РП2-ТП4 (4×630)  | Кабель АПВВнг (3×95) в траншее  | 1100                 | 0,12     | 4            | 528,00                                | 0,165       | 87,12                       | 0,17               | 24,01             | 0,14               | 14,3                     | 1,39              | 88,51                             |
| РП2-СД (2×630)   | Кабель АПВВнг (3×95) в траншее  | 1100                 | 0,12     | 2            | 264,00                                | 0,165       | 43,56                       | 0,17               | 24,01             | 0,07               | 14,3                     | 0,70              | 44,26                             |
| РП2-ТП1 (4×1000) | Кабель АПВВнг (3×95) в траншее  | 1100                 | 0,15     | 4            | 660,00                                | 0,165       | 108,90                      | 0,17               | 43,30             | 0,57               | 14,3                     | 5,66              | 114,56                            |
| ГПП-ТП3 (4×1600) | Кабель АПВВнг (3×95) в траншее  | 1100                 | 0,67     | 4            | 2948,00                               | 0,165       | 486,42                      | 0,17               | 60,97             | 5,08               | 14,3                     | 50,13             | 536,55                            |
| ГПП-ИП (4×400)   | Кабель АПВВнг (3×95) в траншее  | 1100                 | 0,67     | 4            | 2948,00                               | 0,165       | 486,42                      | 0,17               | 15,24             | 0,32               | 14,3                     | 3,13              | 489,55                            |
| ГПП-ТП6 (4×1600) | Кабель АПВВнг (3×95) в траншее  | 1100                 | 0,77     | 4            | 3388,00                               | 0,165       | 559,02                      | 0,17               | 60,97             | 5,84               | 14,3                     | 57,61             | 616,63                            |
| Итого:           |                                 |                      |          |              |                                       |             | 1640,76                     |                    |                   | 11,81              |                          | 116,54            | 1757,30                           |

Из результатов расчета по табл. 2 и 3 видно, что наиболее экономически выгодным является первый вариант схемы электроснабжения, так как приведенные затраты на него меньше.

Годовой экономический эффект при применении первого варианта:

$$\mathcal{E} = Z_2 - Z_1; \quad (10)$$

$$\mathcal{E} = 1757,3 - 894,58 = 862,71 \text{ тыс.руб./год.}$$

#### Список литературы

1. Блок В.М. Пособие к курсовому и дипломному проектированию для электроэнергетических специальностей: учебное пособие для студентов вузов / В.М. Блок, Г.К. Обухов, Л.В. Паперно, С.А. Гусев, Я.Х. Герхард. – М.: Высшая школа. 1981. – 304 с.
2. Вагин Г.Я. Экономия энергоресурсов в промышленных технологиях. Справочно-методическое пособие / Г.Я. Вагин, Л.В. Дудникова, Е.А. Зенютнич, А.Б. Лоскутов, Е.Б. Солнцев. НГТУ НИЦЭ – Н.Новгород. 2001. – 296 с.
3. Кудрин Б.И. Электроснабжение промышленных предприятий: учебник для вузов. – М.: Энергоатомиздат. 1995. – 416 с.
4. Официальный сайт «Консультант Плюс» Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов. [Электронный ресурс]. – URL: <http://base.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc;base=LAW;n=28224>.

5. Официальный сайт «Энергосбыт». – URL: <http://www.nsk.elektra.ru/> (Дата обращения: 22.02.2015).

#### References

1. Blok V.M., Obushev G.K., Paperno L.V., Gusev S.A., Gerhard Ya.H. *Posobie k kursovomu i diplomnomu proektirovaniyu dlya elektroenergeticheskikh special'nostey: Uchebnoe posobie dlya studentov vuzov* [The paper to the course and degree design for electric power specialties: Textbook for students]. Moscow: Vysshaya shkola. 1981. 304 p.
2. Vagin G.Ya., Dudnikova L.V., Zenyutich E.A., Loskutov A.B., Solncev E.B. *Ekonomiya energoresursov v promyshlennykh tekhnologiyah. Spravochno-metodicheskoe posobie* [Energy savings in industrial technologies. Reference handbook]. Nizhniy Novgorod: Nizhegorodskiy Gos. Tekhnicheskiiy Univ. NICE, 2001. 296 p.
3. Kudrin B.I. *Elektrosnabzhenie promyshlennykh predpriyatiy: Uchebnik dlya vuzov* [Power supply of industrial enterprises: Textbook for universities]. Moscow: Energoatomizdat. 1995. 416 p.
4. *Oficialnyy sayt «Konsultant Plus» Metodicheskie rekomendacii po ocenke effektivnosti investitsionnykh proektov* (Official website of «Consultant Plus» Guidelines for assessing the effectiveness of investment projects). Available at: <http://base.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc;base=LAW;n=28224>.
5. *Oficialnyy sayt «Energosbyt»* (Official website of «Energosbyt»). Available at: <http://www.nsk.elektra.ru/> (accessed 22.02.2015).