

**Экономическое обоснование метода регулирования электропотребления
предприятия с применением аккумуляторных батарей на примере
обогащительной фабрики ОАО «Уралкалий»**

Шклярский А.Я., доцент Санкт-Петербургского Горного университета,
Санкт-Петербург, Россия

Иванченко Д.И., доцент Санкт-Петербургского Горного университета,
Санкт-Петербург, Россия

Яковлева Э.В., доцент Санкт-Петербургского Горного университета,
Санкт-Петербург, Россия

Аннотация. В статье представлено экономическое обоснование целесообразности использования метода регулирования электропотребления с помощью накопителей электроэнергии в виде аккумуляторных батарей на примере промышленного предприятия. В качестве него выбрана обогащительная фабрика ОАО «Уралкалий». На предприятии используется двухставочный тариф при оплате электроэнергии и в таком случае изменение экономии от перераспределения электроэнергии носит нелинейный характер.

Ключевые слова: экономическая эффективность, график нагрузки, электропотребление, энергосистема, накопители энергии, электрическая мощность.

**The economic justification of the method for regulating the power
consumption of an enterprise using batteries by the example of a concentrating
mill of OAO Uralkali**

Shklyarsky A.Ya., associate Professor of Saint-Petersburg Mining University,
Saint-Petersburg, Russia

Ivanchenko D.I., associate Professor of Saint-Petersburg Mining University,
Saint-Petersburg, Russia

Yakovleva E.V., associate Professor of Saint-Petersburg Mining University,
Saint-Petersburg, Russia

Annotation. The article presents the economic justification of the expediency of using the method of power consumption regulation with the help of power storage devices in the form of storage batteries by the example of an industrial enterprise. The concentrator of Uralkali was chosen as the plant. The company uses a two-part tariff when paying for electricity and in this case the change in the economy from the redistribution of electricity is non-linear.

Keywords: economic efficiency, load schedule, power consumption, power system, energy storage, electric power.

Процесс обогащения хлористого калия – основного процесса на обогатительной фабрике ОАО «Уралкалий» – является энергоемким, и существующая схема электроснабжения может быть модернизирована. В условиях опережающего инфляцию роста тарифов на электроэнергию, оптимизация процессов энергопотребления является очень актуальной.

Для регулирования графика нагрузки электротехнического комплекса предприятия будут использоваться аккумуляторные батареи (АКБ). Многие вопросы, связанные с их использованием рассмотрены в [1-5]. Также необходимо определить экономически целесообразную емкость накопителя электроэнергии (НЭ). Для этого рассмотрим суточный график нагрузки (рисунок 1).

¹ Курбацкий В.Г. Качество электроэнергии и электромагнитная совместимость технических средств в электрических сетях // Братск: БрГТУ, 1999. - 220 с.

² Кучинский Г.С. Силовые электрические конденсаторы / Г.С. Кучинский, Н.И. Назаров, Г.Т. Назарова, И.Ф. Переселенцев // М.: Энергия, 1975. – 248 с.

³ Кучумов Л.А. Потери мощности в электрических сетях и их взаимосвязь с качеством электроэнергии / Л.А. Кучумов, Л.В. Спиридонова // Л.: Изд-во ЛПИ, 1985. – 92 с.

⁴ Лебедев Б.П. Графики нагрузки и структура мощности // Энергохозяйство за рубежом, 1980. № 3. С. 1-9.

⁵ Шклярский Я.Э., Брагин А.А. Рациональное формирование графика нагрузки электротехнического комплекса горного предприятия / Шклярский Я.Э., Брагин А.А.// Записки Горного института, т. 196, Санкт-Петербург, 2012. – с. 281 – 284.

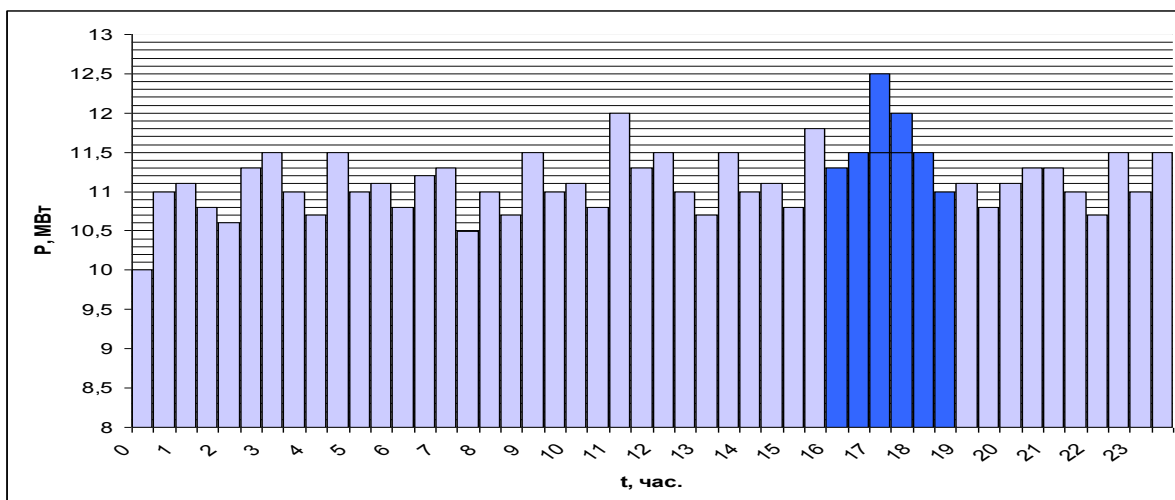


Рис. 1 – График нагрузки электротехнического комплекса, где P - активная мощность

Из графика видно, что существует пик в часы максимума энергосистемы и емкость накопителя электроэнергии и снижаемая мощность зависят нелинейно, из-за ступенчатого характера графика. Построим зависимость удельной экономии средств на оплату электроэнергии, за весь срок эксплуатации НЭ от его емкости (рисунок 2).

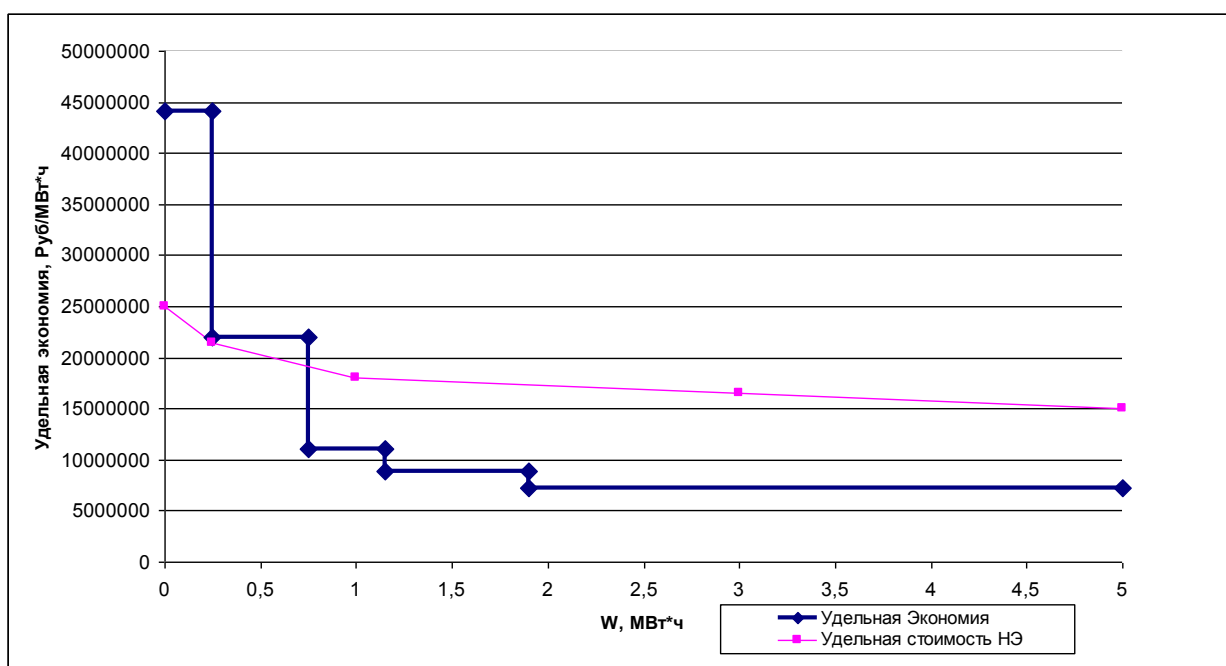


Рис. 2 – График зависимости удельной экономии средств на оплату электроэнергии, за весь срок эксплуатации НЭ от его емкости и удельная стоимость НЭ, W – емкость НЭ

Из графика (рисунок 2) видно, что экономически целесообразно выбрать НЭ емкостью 0,75 МВт*ч. Дальнейшее увеличение емкости НЭ будет снижать экономические показатели проекта.

Расчет инвестиций

Инвестирование денежных средств на модернизацию АО «Уралкалий» производит из собственных оборотных средств. Кредита, для проведения модернизации, не требуется. Расчет затрат на приобретение технологического оборудования приведен в таблице 1.

Таблица 1

Расчет затрат на приобретение технологического оборудования

Наименование оборудования	Количество, шт.	Опт.цена или баланс. стоимость одного аппарата, тыс. руб.	Общая сумма затрат на приобретение оборудования, тыс. руб.	Амортизационные отчисления	
				Норма, %	Сумма, тыс. руб.
Инвертор и блок АКБ 0,75 МВт*ч	1	21000	21000		
Итого стоимость оборудования по оптовым ценам			21000		
Транспортные расходы (% от стоимости оборудования) 5%			1050	-	-
Монтаж оборудования 5%			1050	-	-
Итого стоимость учтенного оборудования			23100	20	4620
Всего стоимость технологического оборудования			23100	20	4620

Срок службы инвертора и блока АКБ составляет 5 лет.

Электрическая энергия занимает весомую долю в себестоимости готовой продукции. Расчет стоимости электроэнергии производится по двухставочному тарифу за заявленную мощность в часы максимума энергосистемы Рз (с интервалом усреднения 30 минут) и потребленную энергию Wп. Согласно тарифам для промышленных предприятий пермского края стоимость составит (таблица 2):

Тарифы на электроэнергию для промышленных предприятий в Пермском крае 2017 г.

Наименование	Стоимость
Заявленная мощность в часы макс.	685278 руб/МВт*мес.
Потребленная энергия	565 руб/МВт*час

Годовое потребление электроэнергии ОФ составляет 88347927 кВт. Потребляемая мощность в часы максимума энергосистемы (с 16 до 19 часов) составляет 12,49 МВт.

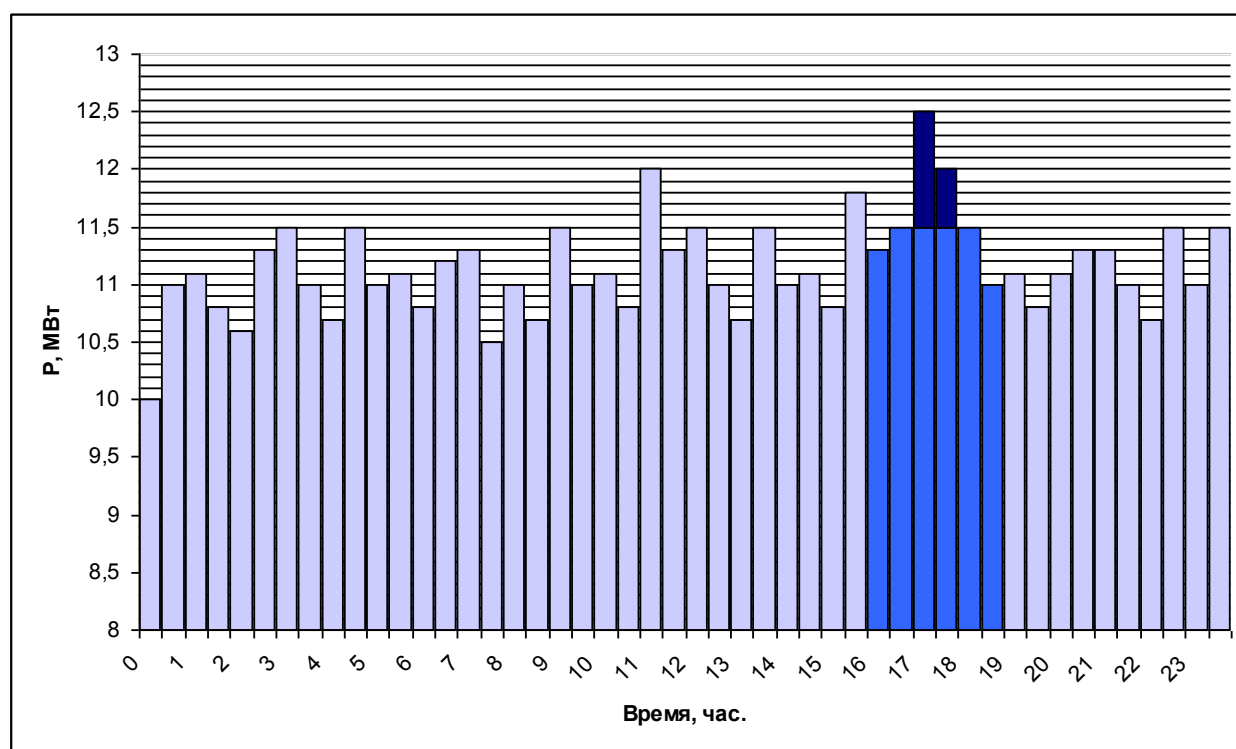


Рис. 3 – График нагрузки электротехнического комплекса ОФ

Как видно из графика (рисунок 3) в период с 17 до 18 часов имеется пик потребления электроэнергии его сокращение позволит снизить заявленную в часы максимума мощность.

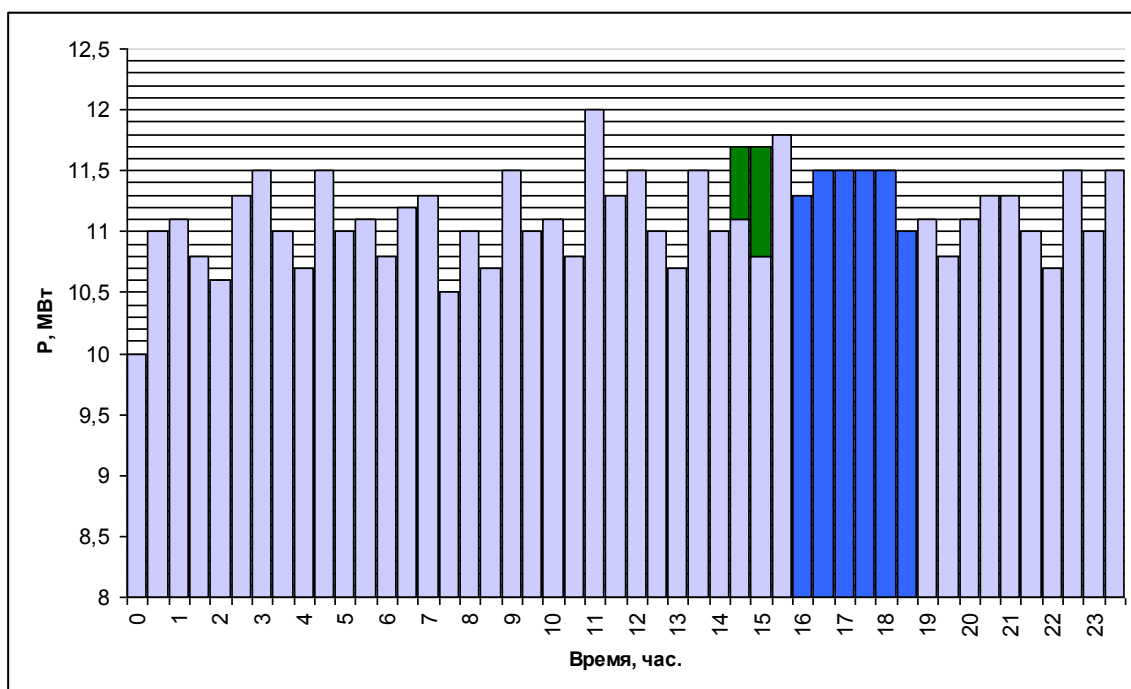


Рис. 4 – Перераспределенный график нагрузки электротехнического комплекса ОФ

Как видно из графика (рисунок 4) потребление электроэнергии в период с 17 до 18 часов снизилось на 1 МВт до 11,5 МВт. Этот эффект достигается за счет использования накопителя электроэнергии, который разряжался в указанные часы. В период с 14ч 30мин до 15ч 30 мин происходила зарядка накопителя электроэнергии и потребление из сети выросло, как показано на рисунке 4. Годовые затраты на электроэнергию до и после модернизации приведены в таблице 3.

Таблица 3

Годовые затраты на электроэнергию до и после модернизации

Наименование	Стоимость, ед	До модернизации		После модернизации	
		МВт	тыс. руб.	МВт	тыс. руб.
Рз	685278 руб/МВт*мес.	12,49	102709,5	11,5	94568,5
Wп	565 руб/МВт*час	88348	49917	88348	49917
	Итого:		152626,5 тыс. руб.		144485,5 тыс. руб.

Под структурой себестоимости понимается ее состав по статьям и их доля в полной себестоимости. Состав затрат на производство и реализацию продукции приведен в таблице 4.

Состав затрат на производство и реализацию продукции

№ п/ п	Статьи расхода	До модернизации		После модернизации		Откло- нения (±)
		Стоимость всего выпуска продукции, руб.	Удель- ный вес, %	Стоимость всего выпуска продукции, руб.	Удель- ный вес, %	
1	2	4	5	8	9	10=9-5
1.	Переменные в т.ч. итого:	654511650	25,08	646370601	24,81	-0,27
	• Сырье	325910637	12,49	325910637	12,51	0,02
	• Материалы, топливо	50811857	1,95	50811857	1,95	0,00
	• тепловая, электрическая энергия	277789156	10,65	269648107	10,35	-0,30
2.	Постоянные в т.ч. итого:	1 899 720 870	72,81	1 903 460 490	73,07	0,26
	• оплата труда основных рабочих с учетом ЕСН	27838925	1,07	27838925	1,07	0,00
	• общепроизводст- венные расходы	471 872 238	18,08	475 823 588	18,26	0,18
	• Общехозяйствен- ные расходы	316991280	12,15	316991280	12,17	0,02
	• Коммерческие расходы	1138111360	43,62	1138111360	43,69	0,07
	Итого полная себестоимость	2 609 325 453	100%	2 605 135 754	100%	---

Расчет эффективности инвестиционного проекта

Показатели инвестиционного проекта: Чистый дисконтированный доход (ЧДД), индекс доходности (ИД), срок окупаемости ($T_{ок}$), внутренняя норма доходности (ВНД).

Определяем вышеперечисленные показатели.

1. Чистый дисконтированный доход

$$\text{ЧДД} = \text{ТС} - \text{К}. \quad (1)$$

где ТС – сумма приведенных доходов, руб;

К – сумма дисконтированных капиталовложений, руб.

$$TC = \sum_{t=1}^T \left(\frac{R_t - Z_t}{(1+E)^t} \right). \quad (2)$$

где R_t – показатели, достигаемые на t-ый год расчета;

Z_t – затраты, шаге t;

$$R_t - Z_t = \Delta \text{ЧП}_t. \quad (3)$$

E – норма дисконта;

t – номер шага расчета ($t=0, 1, 2 \dots T$);

T – срок лет эксплуатации;

$$T = \frac{100}{H_A}. \quad (4)$$

$$T = \frac{100}{20} = 5 \text{ лет}$$

здесь H_A – норма амортизации на оборудование.

$$E = r + \frac{p}{100}, \quad (5)$$

где r – ставка рефинансирования, объявленная ЦБ РФ на 2012 г ($r = 8,25\%$),

p – поправка на риск.

Принимаем величину $p = 5\%$, поскольку предлагается модернизировать объект на базе освоенной техники.

$$E = 0,0825 + \frac{5}{100} = 0,1325;$$

$$\Delta C_{\text{зод}} = 2\,609\,325\,453 - 2\,605\,135\,754 = 4\,189\,699 \text{ руб};$$

$$\Delta \text{ЧП} = \Delta C_{\text{зод}}(1 - 0,2) = 4\,189\,699 * 0,8 = 3\,351\,759 \text{ руб}.$$

Поскольку в себестоимость продукции была включена амортизация вводимого оборудования, её можно отнести к положительным эффектам в потоке платежей

$$TC = \frac{3\,351\,759 + 4\,620\,000}{(1 + 0,1325)^1} + \frac{3\,351\,759 + 4\,620\,000}{(1 + 0,1325)^2} + \frac{3\,351\,759 + 4\,620\,000}{(1 + 0,1325)^3} + \frac{3\,351\,759 + 4\,620\,000}{(1 + 0,1325)^4} + \frac{3\,351\,759 + 4\,620\,000}{(1 + 0,1325)^5} = 2\,786\,833\,1 \text{ руб},$$

$$K = \sum_{t=0}^T K_t \frac{1}{(1 + E)^t}. \quad (6)$$

где: K_t – капитальные вложения на t -ом шаге, вложения на модернизацию произвелись единовременно то $t = 0$

$$K_{\text{рек}} = K_t = 22\,900 \text{ тыс.руб.}$$

$$K = \frac{22\,900}{(1 + 0,1325)^0} = 22\,900 \text{ тыс.руб},$$

тогда ЧДД будет равно

$$\text{ЧДД} = 2\,786\,833\,1 - 22\,900\,000 = 4\,968\,331 \text{ руб}.$$

2. Индекс доходности

$$\text{ИД} = \frac{TC}{K} = \frac{2\,786\,833\,1}{22\,900\,000} = 1,21.$$

Как видно из расчетов ЧДД>0, а ИД>1, следовательно, инвестиционный проект эффективен.

2. Внутренняя норма дисконта

$$ВНД = \sum_{t=1}^T \frac{(R_t - Z_t^*)}{(1 + E_{вн})^t} = \sum_{t=1}^T \frac{K_t}{(1 + E_{вн})^t} = \left[\left(\frac{1}{K_t} \sum_{t=1}^T \frac{\Delta ЧП_t}{(1 + E_{вн})^t} \right) - 1 \right] \cdot 100\%. \quad (7)$$

$$27868331 > 22900000 \text{ руб}$$

Инвестиции вложенные в данный проект оправданы.

$$ВНД = \left[\frac{27868331}{22900000} - 1 \right] \cdot 100\% = 21,7\%.$$

4. Срок окупаемости проекта

Определим срок окупаемости по графику (рисунок 5):

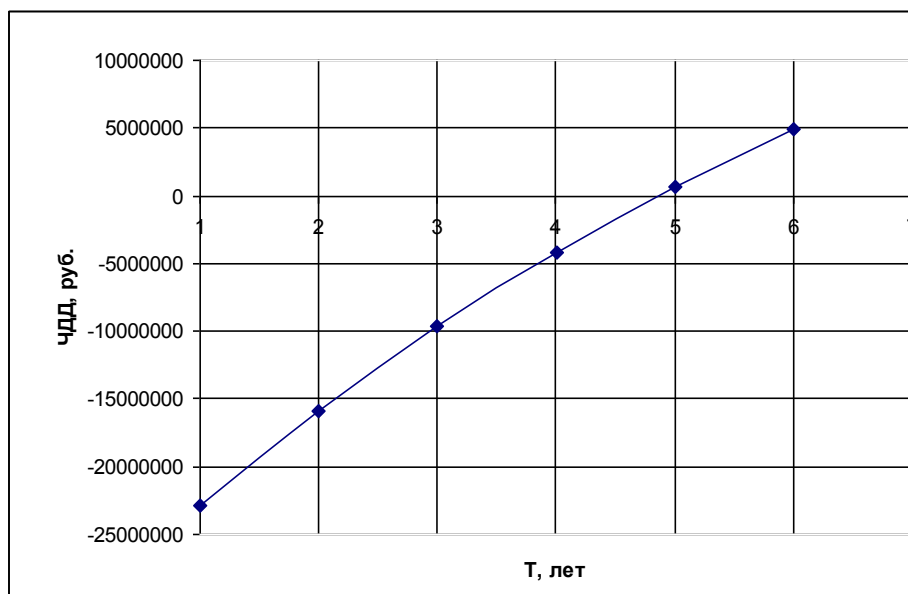


Рис. 5 – График ЧДД

$$T_{ок} = 3,9 \text{ года.}$$

Таким образом, на примере обогатительной фабрики ОАО «Уралкалий»:

1. Произведен анализ инвестиционного проекта по установке потребителя-регулятора мощности в виде аккумуляторных батарей на обогатительной фабрике ОАО «Уралкалий». Анализ показал, что наиболее экономически выгодно произвести установку блоков НЭ емкость 0,75 МВт*ч.

При этом был получен график удельной экономии от емкости накопителя электроэнергии.

2. Произведен расчет сроков окупаемости данного проекта. Срок окупаемости составил 3,9 года. Снижение затрат на оплату электроэнергии составило 8141 тыс. руб. в год. Следует отметить, что в условиях неуклонного роста тарифов на оплату электроэнергии реальный срок окупаемости проекта составит меньшую величину.

Библиографический список

1. Курбацкий В.Г. Качество электроэнергии и электромагнитная совместимость технических средств в электрических сетях // Братск: БрГТУ, 1999. - 220 с.

2. Кучинский Г.С. Силовые электрические конденсаторы / Г.С. Кучинский, Н.И. Назаров, Г.Т. Назарова, И.Ф. Переселенцев // М.: Энергия, 1975. – 248 с.

3. Кучумов Л.А. Потери мощности в электрических сетях и их взаимосвязь с качеством электроэнергии / Л.А. Кучумов, Л.В. Спиридонова // Л.: Изд-во ЛПИ, 1985. – 92 с.

4. Лебедев Б.П. Графики нагрузки и структура мощности // Энергохозяйство за рубежом. – 1980. – № 3. – С. 1-9.

5. Шклярский Я.Э., Брагин А.А. Рациональное формирование графика нагрузки электротехнического комплекса горного предприятия / Я.Э. Шклярский, А.А. Брагин // Записки Горного института, т. 196, Санкт-Петербург, 2012. – с. 281 – 284.

References

1. Kurbatsky V.G. Quality of electric power and electromagnetic compatibility of technical means in electric networks // Bratsk: BrGTU, 1999. – 220 p.

2. Kuchinsky G.S. Power Electric Capacitors / G.S. Kuchinsky, N.I. Nazarov, G.T. Nazarova, I.F. Pereselentsev // M.: Energia, 1975. – 248 p.

3. Kuchumov L.A. Power losses in electrical networks and their interconnection with the quality of electricity. Kuchumov, L.V. Spiridonova // L.: Izd-vo LPI, 1985. – 92 p.

4. Lebedev B.P. Load graphs and power structure // Energo economy abroad. – 1980. – № 3. – P. 1-9.

5. Shklyarskiy Y.E., Bragin A.A. Rational formation of the load schedule for the electrical complex of a mining enterprise / Y.E. Shklyarskiy. A.A. Bragin // Proceedings of the Mining Institute, vol. 196, St. Petersburg, 2012. – c. 281 – 284.