

УДК 621.31

**ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ
ГРАВИТАЦИОННОГО НАКОПИТЕЛЯ****П. А. Батан***Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь*

Научный руководитель С. Г. Жуковец

*Приведено технико-экономическое обоснование использования гравитационного накопителя для филиала «Гомельский комбинат хлебопродуктов».***Ключевые слова:** гравитационная батарея, технико-экономическое обоснование, электроэнергия, график нагрузки.**TECHNICAL AND ECONOMIC JUSTIFICATION
FOR THE APPLICATION OF GRAVITATIONAL RESTORATION****P. A. Batan***Sukhoi State Technical University of Gomel, the Republic of Belarus*

Science supervisor S. G. Zhukovets

*A feasibility study is presented for the use of a gravitational storage device for the Gomel Bread Products Plant branch.***Keywords:** gravity battery, feasibility study, electric power industry, load schedule.

Филиал «Гомельский комбинат хлебопродуктов» за потребленную электроэнергию (ЭЭ) рассчитывается по двухставочно-дифференцированному тарифу. Исходя из этого, получение экономического эффекта от применения гравитационного накопителя (ГН) возможно при аккумуляции дешевой электроэнергии батареями ночью и выдаче электроэнергии предприятию в часы пика энергосистемы.

На рис. 1 приведен суточный график потребления ЭЭ предприятием.

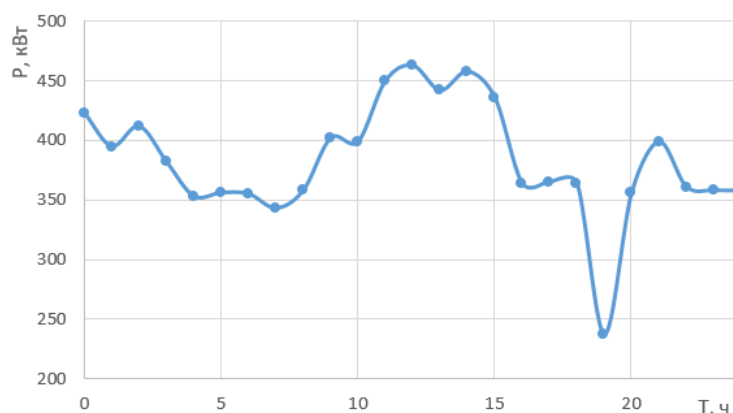


Рис. 1. Суточный график потребления электроэнергии предприятием

Для графика нагрузки энергосистемы Республики Беларусь продолжительность и границы тарифных зон суток для всех расчетных периодов (месяцев) календарного года являются едиными:

- ночная зона $t_{\text{Н}} = 7$ ч (с 23:00 до 6:00);
- полупиковая зона $t_{\text{ПП}} = 14$ ч (с 6:00 до 8:00 и с 11:00 до 23:00);
- пиковая зона $t_{\text{П}} = 3$ ч (с 8:00 до 11:00).

В часы пика энергосистемы по суточному графику можно определить количество энергии, которое необходимо накопить в ночное время. В качестве параметров накопителя были приняты ширина, длина и высота накопителя, количество грузов и высота, на которую их необходимо поднять.

Исходя из графика, количество ЭЭ, необходимой для покрытия пика (с 8:00 до 11:00), составляет 1205 кВт · ч. То есть за ночное время (с 23:00 до 6:00) необходимо накопить 1205 кВт · ч.

Принимаем, что КПД накопителя $\eta_{\text{н}} = 85\%$; ускорение свободного падения $g = 10 \text{ м/с}^2$; длина груза $l = 4,1 \text{ м}$; ширина груза $d = 4,1 \text{ м}$; высота груза $h = 4,1 \text{ м}$; высота подъема груза $h_{\text{подъема}} = 30 \text{ м}$; плотность бетона М300 $\rho_{\text{бет}} = 2500 \text{ кг/м}^3$; количество грузов $n = 100$.

Рассчитаем объем накопителя:

$$V_{\text{н}} = n \cdot l \cdot d \cdot h = 100 \cdot 4,1 \cdot 4,1 \cdot 4,1 = 6892,1 \text{ м}^3.$$

Рассчитаем массу накопителя:

$$m_{\text{н}} = \rho_{\text{бет}} \cdot V_{\text{н}} = 2500 \cdot 6892,1 = 17230,25 \cdot 10^3 \text{ кг}.$$

Рассчитаем работу совершаемую при подъеме (количество энергии, которое груз может накопить):

$$A = m_{\text{н}} g h_{\text{подъема}} = 17230,25 \cdot 10^3 \cdot 10 \cdot 30 = 5169,07 \cdot 10^6 \text{ Дж}.$$

Переведем Дж в кВт · ч ($3,6 \cdot 10^6 \text{ Дж} = 1 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$), получаем

$$W_1 = \frac{5169,07 \cdot 10^6}{3,6 \cdot 10^6} = 1435,85 \text{ кВт} \cdot \text{ч}.$$

С учетом потерь при подъеме и опускании груза расчетная ЭЭ, которую может накопить батарея составит

$$W_p = W_1 \cdot \eta_{\text{н}} = 1435,85 \cdot 0,85 = 1220,48 \text{ кВт} \cdot \text{ч}.$$

Стоимость 1 кВт · ч = 17800 рос. руб. (согласно данным компании Energy Vault).

Стоимость 1220,48 кВт · ч = 21,62 млн рос. руб.; 100 рос. руб. = 3,76 бел. руб.

Капиталовложения составят $21,62 \cdot 10^6 \cdot \frac{3,76}{100} = 812912 \text{ руб.}$

Количество ЭЭ, потребляемой предприятием за сутки, $W_{\text{сут}} = 9198,5 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$.

Количество ЭЭ, потребляемой предприятием в часы пика, $W_{\text{п}} = 1205 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$.

Количество ЭЭ, потребляемой предприятием в часы полупика, $W_{п.п} = 5348,5$ кВт · ч.

Количество ЭЭ, потребляемой предприятием в ночные часы, $W_{н} = 2645$ кВт · ч.

Фактическая максимальная мощность предприятия в часы пика составляет $P_{\phi}^{\max} = 450$ кВт.

Основная тарифная ставка $a = 27,85$ руб./кВт.

Тарифы на ЭЭ: $T_{п.п} = 0,29$ руб./кВт · ч; $T_{п} = 0,54$ руб./кВт · ч; $T_{н} = 0,14$ руб./кВт · ч.

Плата за годовое потребление ЭЭ предприятием до внедрения накопителя составляет

$$\begin{aligned} \Pi_{\text{э1}} &= aP_{\phi}^{\max} + (T_{п.п}W_{п.п} + T_{п}W_{п} + T_{н}W_{н}) \cdot 365 = \\ &= 27,85 \cdot 450 \cdot 12 + (0,29 \cdot 5348,5 + 0,54 \cdot 1205 + 0,14 \cdot 2645) \cdot 365 = 1089193,725 \text{ руб.} \end{aligned}$$

Плата за годовое потребление ЭЭ предприятием с учетом накопления ЭЭ в ночное время составляет

$$\begin{aligned} \Pi_{\text{э2}} &= aP_{\phi}^{\max} + T_{п.п}W_{п.п} + T_{н}(W_{п} + W_{н}) = \\ &= 27,85 \cdot 450 \cdot 12 + (0,29 \cdot 5348,5 + 0,14 \cdot (1205 + 2645)) \cdot 365 = 913263,725 \text{ руб.} \end{aligned}$$

Рассчитаем годовую прибыль от внедрения накопителя

$$\Delta\Pi_{\text{э}} = \Pi_{\text{э1}} - \Pi_{\text{э2}} = 1089193,725 - 913263,725 = 175930 \text{ руб.}$$

Амортизационные отчисления: $U_{\text{ам}} = \frac{p_{\text{ам}}}{100} k = \frac{3,33}{100} 812912 = 27070$ руб.

Затраты на заработную плату персонала:

$$U_{\text{зп}} = Ч \cdot 3\Pi_{\text{ср}} \cdot 12 = 2 \cdot 2000 \cdot 12 = 48000 \text{ руб.}$$

Отчисления на социальные нужды:

$$U_{\text{сн}} = \frac{H_{\text{соц}} + H_{\text{стр.н.с.}}}{100} U_{\text{зп}} = \frac{34 + 0,6}{100} 48000 = 16608 \text{ руб.}$$

Затраты на текущий ремонт: $U_{\text{рем}} = 0,15 \cdot U_{\text{ам}} = 0,15 \cdot 27070 = 4061$ руб.

Прочие затраты:

$$U_{\text{проч}} = 0,2(U_{\text{зп}} + U_{\text{сн}} + U_{\text{ам}} + U_{\text{рем}}) = 0,2(48000 + 16608 + 27070 + 4061) = 19148 \text{ руб.}$$

Эксплуатационные расходы:

$$U_{\text{экспл}} = U_{\text{зп}} + U_{\text{сн}} + U_{\text{рем}} + U_{\text{проч}} = 48000 + 16608 + 4061 + 19148 = 87817 \text{ руб.}$$

Годовой финансовый результат:

$$P = \Delta\Pi_{\text{э}} + U_{\text{ам}} - U_{\text{экспл}} = 175930 + 27070 - 87817 = 115183 \text{ бел. руб.}$$

Статический срок окупаемости:

$$T_{\text{ст}} = \frac{K}{P} = \frac{812912}{115183} = 7,058 \text{ лет.}$$

Динамический срок окупаемости.

$$\text{ЧДД} = \sum_1^t \frac{\Pi_t}{(1+r)^t},$$

где t – последний год, в котором накопления чистой дисконтированной стоимости имеет отрицательное значение, лет; ЧДД – чистый дисконтированный доход; Π_t – чистый доход; r – ставка дисконтирования (11 %).

Расчет динамического срока окупаемости приведен в таблице, а графическое представление статического и динамического сроков окупаемости – на рис. 2.

Расчет динамического срока окупаемости

Год	Вложения, руб.	Чистый доход, руб.	Дисконтированный доход, руб.	Дисконтированный множитель, руб.
2000	812912	–	–	1
2001		115183	103768,47	0,9009
2002		115183	93485,107	0,8116
2003		115183	84220,817	0,7312
2004		115183	75874,61	0,6587
2005		115183	68355,504	0,5935
2006		115183	61581,535	0,5346
2007		115183	55478,861	0,4817
2008		115183	49980,956	0,4339
2009		115183	45027,888	0,3909
2010		115183	40565,665	0,3522
2011		115183	36545,644	0,3173
2012		115183	32924,004	0,2858
2013		115183	29661,264	0,2575
2014		115183	26721,86	0,232
2015		115183	24073,748	0,209
2016		115183	21688,061	0,1883
2017		115183	19538,794	0,1696
2018		115183	17602,517	0,1528
2019		115183	15858,123	0,1377
2020		115183	14286,598	0,124
2021	115183	12870,809	0,1117	

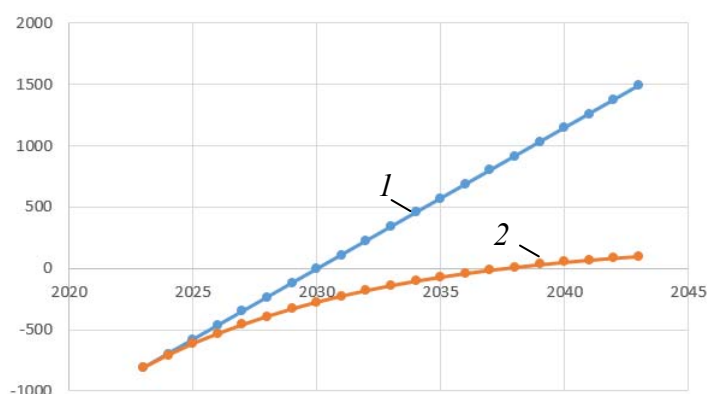


Рис. 2. Графическое представление статического и динамического сроков окупаемости:
1 – статистический срок окупаемости; 2 – динамический срок окупаемости

Динамический срок окупаемости:

$$T_{\text{дин}} = t - \frac{\text{ЧДД}_t}{\text{ЧДД}_{t+1} - \text{ЧДД}_t} = 15 - \frac{-13544,1}{10529,62 - (-13544,1)} = 15,56 \text{ лет.}$$

Таким образом, можно сделать следующие выводы:

- статический срок окупаемости составил порядка 7 лет (менее 10 лет), что говорит о целесообразности использования ГН;
- динамический срок окупаемости составил 15,5 лет;
- проект требует существенных инвестиционных затрат.

УДК 536.24

ОБЗОР СОВРЕМЕННЫХ ТЕПЛОНОСИТЕЛЕЙ, ПРИМЕНЯЕМЫХ В ДВУХФАЗНЫХ ЗАМКНУТЫХ СИСТЕМАХ

Н. М. Кидун, Т. Н. Никулина

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

Научный руководитель А. В. Шаповалов

Представлен обзор современных теплоносителей, применяемых в замкнутых двухфазных термосифонах с организованной циркуляцией теплоносителя, рассмотрены теплофизические свойства отдельных теплоносителей.

Ключевые слова: термосифоны, кризис, циркуляция, промежуточный, максимальный, теплоноситель.

OVERVIEW OF MODERN HEAT CARRIERS USED IN TWO-PHASE CLOSED SYSTEMS

N. M. Kidun, T. N. Nikulina

Sukhoi State Technical University of Gomel, the Republic of Belarus

Science supervisor A. V. Shapovalov