

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.

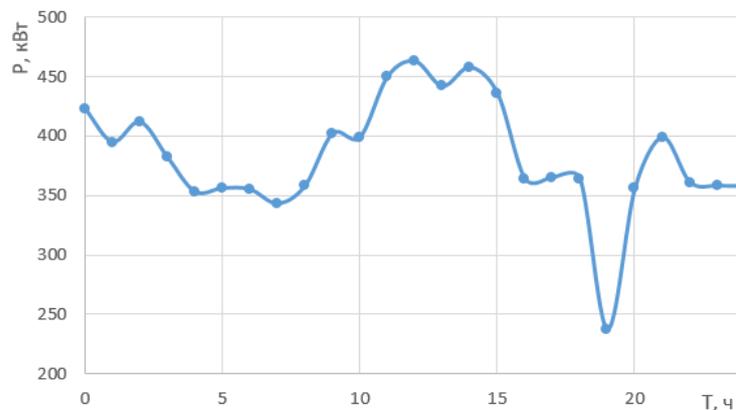


Рис. 1. Суточный график потребления электроэнергии предприятием

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;  $\Pi_t$  – 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                       |                                  |

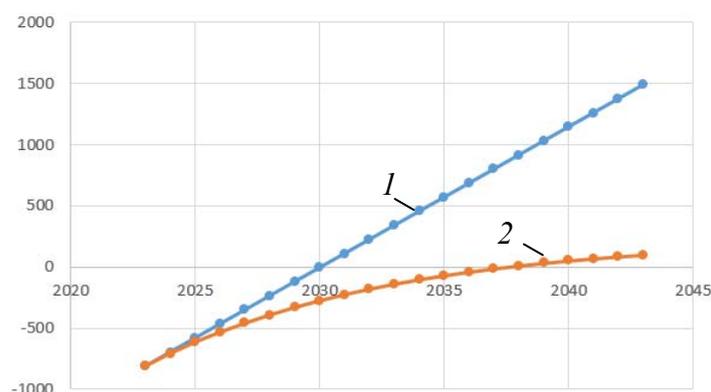


Рис. 2. Графическое представление статического и динамического сроков окупаемости:  
1 – статистический срок окупаемости; 2 – динамический срок окупаемости

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