

УДК 622.271.3

**А.А. Дзендзик****ЕМКОСТЬ СКЛАДОВ ПОПУТНЫХ  
ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ ПРИ РАЗРАБОТКЕ  
КОМПЛЕКСНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ**

Предложено обоснование и экономическая оценка создания складов для попутных полезных ископаемых. Целью создания складов является стабилизация колебаний и скачков производительности карьера при поставке руды на ГОК, а так же склад может применяться для усреднения руды или резервного хранения. В ходе моего проекта был написан программный продукт реализующий отслеживание основных параметров склада на любой стадии. Актуальность разработки состоит в предоставлении автоматизированной системы расчетов, характеристик склада, целесообразность времени работы фабрики, с возможностью корректировки всех параметров. Это значительно упрощает деятельность проектным организациям. Методика для расчета производительности по попутным полезным ископаемым впервые получена и необходима для решения большинства инженерных задач.

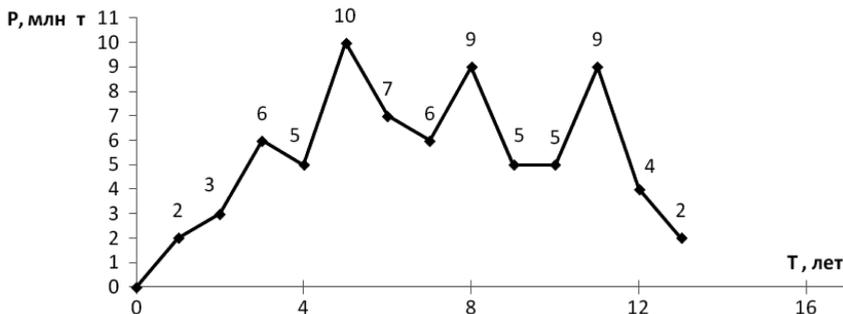
**Ключевые слова:** величины земельного отвода для склада, минимальная емкость склада, стабилизация производительности.

**Д**ля установления величины земельного отвода для склада попутных полезных ископаемых, а также обеспечения возможности оперативного управления складом нужно знать его емкость на любой год эксплуатации комплекса карьер – обогатительная фабрика.

Рассмотрим методику определения емкости склада на примере одного из карьеров, в котором добыча попутного полезного ископаемого  $P$  распределяется по годам отработки месторождения, в соответствии с графиком  $P = f(T)$ , представленном на рис. 1. Пусть заданы минимальная ( $P_r \min = 5$  млн т/год) и максимальная ( $P_r \max = 7$  млн т/год) производительности обогатительной фабрики, а также шаг ее изменения ( $P_r^h = 1$  млн т/год).

Необходимо определить:

- емкость склада, соответствующую каждому значению производительности заданного диапазона;
- объемы полезного ископаемого, хранящиеся на складе в течение всего времени работы карьера и фабрики при каждом варианте производительности;



**Рис. 1.** График распределения по годам добычи попутного полезного ископаемого

• вариант производительности, которому соответствует минимальная емкость склада.

Порядок расчетов (все они производятся на конец года) сводится к следующему:

1. Вычисляют количество рассматриваемых вариантов производительности фабрики

$$N = \frac{P_r \max - P_r \min}{P_r^h} + 1 = \frac{7 - 5}{1} + 1 = 3 \quad (1)$$

Таким образом,  $j = 1, 2, 3$ .

2. Определяют элементы вектора производительности фабрики:

$$P_{rj} = P_r \min \text{ для } j = 1 \text{ и } P_{rj} = P_{rj-1} + P_r^h \text{ для } j = [2:N].$$

Таким образом,  $P_{r1} = 5, P_{r2} = 6, P_{r3} = 7$ .

3. Для каждого варианта производительности  $P_{rj}$  ищут год  $I$ , при котором достигается минимум разности

$$S_{\min j} = \min \left( \sum_{i=1}^I P_i - P_{rj} \cdot I \right) \text{ для } \forall I = [1:T]; j = [1:N] \quad (2)$$

Из графика (рис. 2.) следует, что  $S_{\min 1} = -5$  при  $I = 2$ ;  $S_{\min 2} = -8$  при  $I = 4$  и  $S_{\min 3} = -18$  при  $I = 13$ .

4. Определяют время возможного начала работы фабрики для каждого варианта ее производительности

$$\tau_j = \frac{-(-s_{\min j})}{P_{2j}}; \quad (3)$$

$$\tau_1 = \frac{-(S_{\min 1})}{P_{2j}} = \frac{-(-5)}{5} = 1; \tau_2 = 1,33; \tau_3 = 2,57$$

5. Значение  $I$ , при котором достигается максимум разности

$$S_{\max j} = \max \sum_{i=\tau+1}^I (P_i - P_{rj} \cdot I) \text{ для } \forall I = [\tau^* + 1:T] \quad (4)$$

где  $\tau^* = \text{entier}(\tau)$  – целая часть числа  $\tau$ , определяет год, когда на складе хранится наибольший объем полезного ископаемого.

$$S_{\max 1} = \max \sum_{i=2}^I (P_i - 5I) \text{ для } \forall I = [2:13] \quad (5)$$

$$S_{\max 2} = \max \sum_{i=2}^I (P_i - 6I) \text{ для } \forall I = [2:13] \quad (6)$$

$$S_{\max 3} = \max \sum_{i=3}^I (P_i - 6I) \text{ для } \forall I = [3:13] \quad (7)$$

Таким образом,

$$S_{\max 1} = 12 \text{ при } I = 11; S_{\max 2} = 1 \text{ при } I = 11; S_{\max 3} = -8 \text{ при } I = 8.$$

6. Рассчитывают емкость склада

$$V_j = S_{\max j} - S_{\min j} \quad (8)$$

$$V_1 = S_{\max 1} - S_{\min 1} = 12 - (-5) = 17$$

$$V_2 = 9; V_3 = 10$$

7. Рассчитывают время работы обогатительной фабрики из условия обеспечения ее полезным ископаемым

$$t_j = \sum_{i=1}^I \frac{P_j}{P_{rj}} \quad (9)$$

$$t_1 = 73/5 = 14,6; t_2 = 12,17; t_3 = -10,43$$

8. Определяют время окончания работы фабрики

$$T_{okj} = t_j + \tau_j$$

$$T_{ok1} = t_1 + \tau_1 = 14,6 + 1 = 15,6 \quad (10)$$

$$T_{ok2} = 13,6; T_{ok3} = 13,0$$

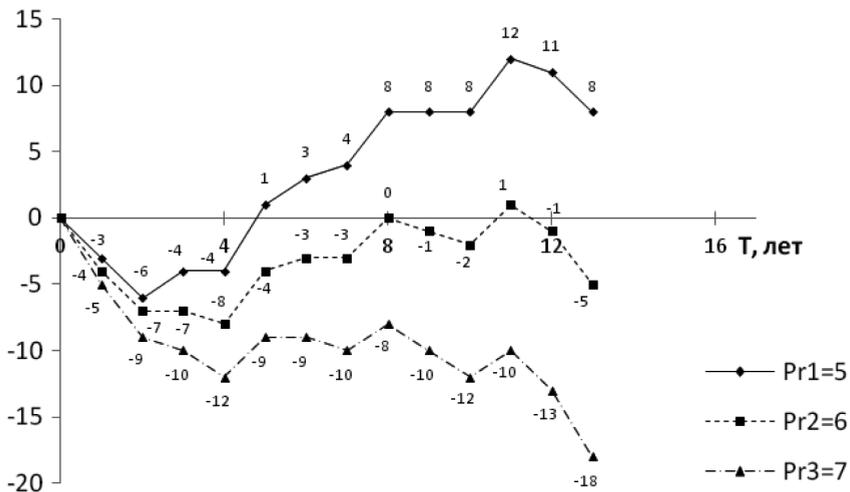
Рассмотрим графики (рис. 2), изменения нарастающих объемов добываемого в карьере полезного ископаемого во времени  $P = f(T)$  и нарастающих объемов стабильного потребляемого фабрикой полезного ископаемого при ее производительности (млн т)  $P_{r1} = 5, P_{r2} = 6, P_{r3} = 7$ .

Разница ординат в каждый момент времени между кривыми, соответствующими фактической производительности карьера

$$P = f(T) = \sum_{i=1}^I P_i \text{ для } \forall I = [1:T] \quad (11)$$

и стабильной производительности комплекса карьер – обогатительная фабрика

$$P_{stj} = \varphi_j(T) = P_{rj} I, \text{ для } \forall I = [1 : t_j] \quad (12)$$



**Рис. 2. Графики изменения разности между фактически нарастающими объемами добываемого и стабильно потребляемого фабрикой попутного полезного ископаемого**

соответствует суммарному объему полезного ископаемого, отправляемому на склад и в последующем используемому для компенсации снижения добычи в карьере. В том случае, когда весь находящийся на складе запас отправляется на обогатительную фабрику, кривая стабильной работы комплекса  $P_{stj} = < \varphi_j(T)$  совпадает с кривой фактической производительности карьера  $P = f(T)$ . Максимальная разница ординат соответствует наибольшему объему полезного ископаемого, хранящегося на складе, то есть определяет емкость склада  $V_j$ , соответствующую стабильной производительности фабрики  $P_{rj}$ .

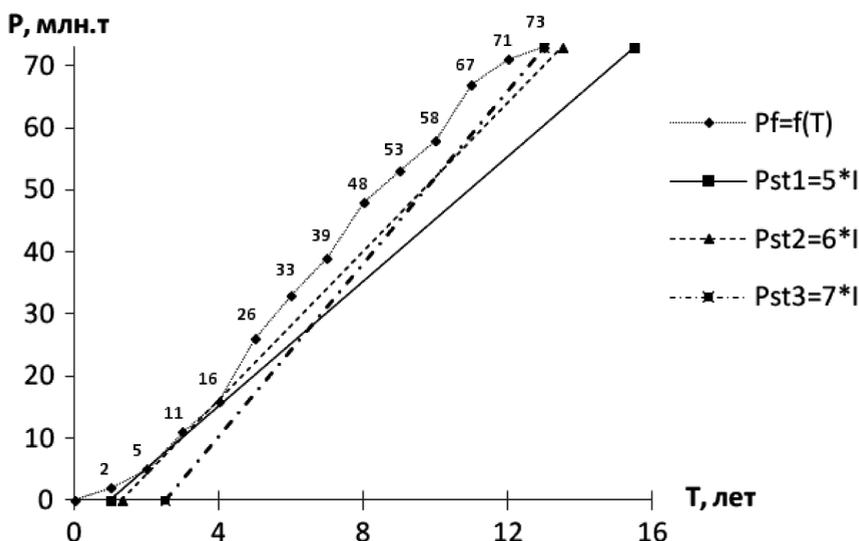
На графике (рис. 3) показано, что от начала работы карьера до точки  $\tau_1 = 1$  год при производительности  $P_{r1} = 5$  млн т до точки  $\tau_2 = 1,33$  года при  $P_{r2} = 6$  млн т и до точки  $\tau_3 = 2,57$  года при  $P_{r3} = 7$  млн т в год весь добываемый объем полезного ископаемого отправляется на склад. В дальнейшем на обогатительную фабрику при производительности  $P_{r1}$  поступает в течение времени  $t_1 = 14,6$  года по 5 млн т полезного ископаемого в год, в течение времени  $t_2 = 12,17$  года по 6 млн т в год и во время  $t_3 = 11,43$  года по 7 млн т в год при производительности  $P_{r2}$  и  $P_{r3}$  соответственно.

Кривая фактической производительности карьера

$$P = f(T) = \sum_{i=1}^I P_i \text{ для } \forall I = [1: T]$$

совпадает с прямой  $P_{stj} = \varphi_j(T) = P_{rj}I = 5I$  для  $\forall I = [1: t_1]$  в точке  $T_{z0}^1 = 2$ . Это означает, что на конец второго года объем запасов на складе при производительности фабрики  $P_{r1} = 5$  млн т равен нулю. Соответственно при производительности  $P_{r2} = 6$  млн т объем запасов на складе становится нулевым в год  $T_{z0}^2 = 4$ , а при  $P_{r3} = 7$  в год  $T_{z0}^3 = 13$ .

Своего максимума объем запасов на складе достигает в год  $T_{zm}^1 = 11$  лет при производительности  $P_{r1} = 5$  млн т,  $T_{zm}^2 = 11$  при  $P_{r2} = 6$  и  $T_{zm}^3 = 8$  при  $P_{r3} = 7$ . Соответственно емкости складов  $V_1, V_2$  и  $V_3$  равны 17, 9 и 10 млн т. После



**Рис. 3. Графики изменения нарастающих объемов добываемого в карьере и стабильно потребляемого фабрикой полезного ископаемого**

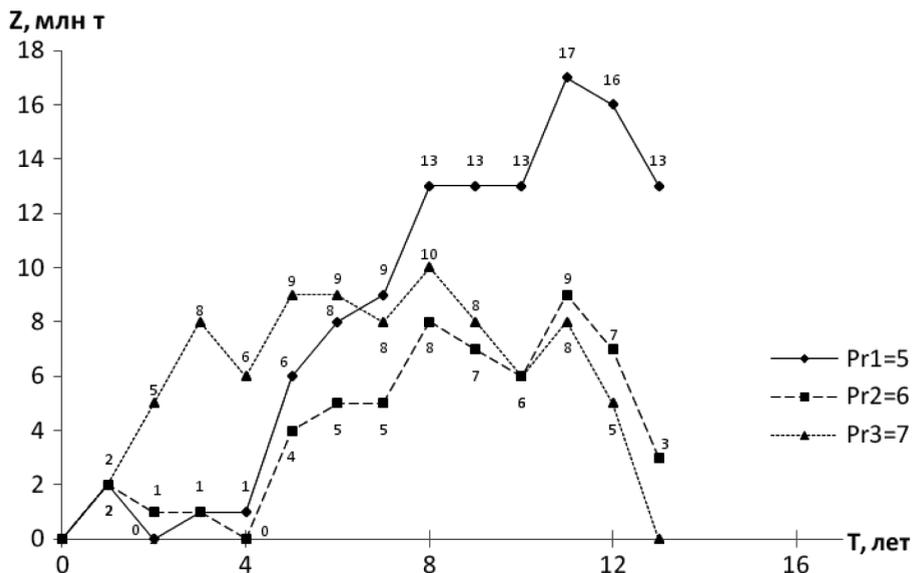


Рис. 4. График изменения объемов попутного полезного ископаемого на складе

окончания добычи полезного ископаемого в карьере, фабрика еще некоторое время работает только за счет запасов, находящихся на складе.

При работе фабрики с производительностью  $P_{r1}$  этот период будет равен  $T_{ок1} - T = 15,6 - 13 = 2,6$  года, при работе с производительностью  $P_{r2}$   $T_{ок2} - T = 0,5$  года, а при производительности  $P_{r3}$  время окончания добычи полезного ископаемого в карьере и работы фабрики совпадают.

9. Определяют объемы полезного ископаемого (рис. 4), хранящегося на складе:

1) объемы, отправляемые с карьера на склад в течение времени  $z_j$ , то есть до начала работы обогатительной фабрики

$$Z_{ij} = \sum_{i=r}^I P_i \text{ для } \forall I = [7; \tau_j^*], j = [1:N]; \quad (13)$$

2) объемы, хранящиеся на складе в период с начала работы обогатительной фабрики до окончания его добычи в карьере

$$Z_{ij} = \sum_{i=r_j+1}^I P_i - P_{rj} - S_{\min j} \text{ для } \forall I = [\tau_{j+1}^*; T], j = [1:N]; \quad (14)$$

3) объемы полезного ископаемого, находящиеся на складе с момента окончания его добычи в карьере до момента окончания работы обогатительной фабрики

$$Z_{ij} = ZI - Ij - P_{rj}, \text{ для } \forall I = [T+l; T_0Kj+1], j = [1:N]; \quad (15)$$

10. Рассчитывают производительность фабрики, которой соответствует минимальная емкость склада:

$$V2_{\min} = \min \{V_j\}, j = [1:N]; I = i \rightarrow \text{Propt} = \text{Pr}_j; \quad (16)$$

$$V2_{\min} = \min \{17,9,10\} = 9; I = 2 \text{ Propt} = 6. \quad (17)$$

Таким образом, минимальная емкость склада соответствует производительности комплекса карьер – обогатительная фабрика 6 млн т в год.

Представленный метод стабилизации производительности комплекса карьер – обогатительная фабрика по попутным полезным ископаемым и определения емкости аккумулирующих складов на весь период существования комплекса разработан на уровне программы для решения поставленной задачи на ЭВМ

Высокая эффективность организации временного складирования попутных полезных ископаемых делает его в настоящее время важнейшим и неотъемлемым технологическим процессом в общем комплексе горно-обогатительного производства.

Роль этого процесса в повышении эффективности горного производства будет постоянно расти в связи с необходимостью решения задачи комплексного освоения месторождений.

---

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Арсентьев А.И., Холодняков Г.А. Проектирование горных работ при открытой разработке месторождений. – М.: Недра, 1994. – 336 с.
2. Холодняков Г.А. Проектирование карьеров при разработке комплексных месторождений. – СПб, 2013. – 192 с. **ГИАБ**

---

## КОРОТКО ОБ АВТОРЕ

Дзэндзик Андрей Анатольевич – аспирант, e-mail: dzendzik7@gmail.com, Национальный минерально-сырьевой университет «Горный».

---

UDC 622.271.3

## ASSOCIATED MINERALS STORAGE CAPACITY AT COMPLEX DEPOSIT

Dzendzik A.A., Graduate Student, e-mail: dzendzik7@gmail.com, National Mineral Resource University «University of Mines», 199106, Saint-Petersburg, Russia.

---

*In work justification and an economic assessment of creation of warehouses for passing minerals is offered. The purpose of creation of warehouses is stabilization of fluctuations and jumps of productivity of a pit at supply of ore to GOK and as the warehouse can be applied to averaging of ore or reserve storage. During my project the software product realizing tracking of key parameters of a warehouse at any stage was written. Relevance of development consists in granting the automated system of calculations, warehouse characteristics, expediency of operating time of factory, with possibility of adjustment of all parameters. It considerably simplifies activity to the design organizations. Technique for calculation of productivity for passing minerals for the first time it is received and it is necessary for the solution of the majority of engineering tasks.*

*Key words: value of land allotment for the warehouse, the minimum storage capacity, stabilization performance.*

## REFERENCES

1. Arsent'ev A.I., Kholodnyakov G.A. *Proektirovanie gornykh rabot pri otkrytoy razrabotke mestorozhdeniy* (Design of mining operations at open-cast mining of fields), Moscow, Nedra, 1994, 336 p.
2. Kholodnyakov G.A. *Proektirovanie kar'erov pri razrabotke kompleksnykh mestorozhdeniy* (Borders of open-cast mining of complex mineral deposits), Saint-Petersburg, 2013, 192 p.

