

**М.М. Якубовский, К.Р. Аргимбаев**

## **МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ НЕОБХОДИМОГО КОЛИЧЕСТВА МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ НА НАСЫПНОМ СКЛАДЕ**

*Проведен обзор способов формирования насыпных складов штабельного типа. Предложена методика по расчету емкости склада в условиях неравномерной добычи полезных ископаемых, рассмотрены мероприятия по увеличению приемной способности склада.*

*Ключевые слова: вместимость, грузопоток, насыпной склад, приемная траншея, бурый уголь, усреднение, штабель.*

### **Введение**

**С**ложность геологических условий залегания, неравномерность распределения полезных компонентов по площади и в глубину месторождения, многообразии воздействия технологических, организационно-технических и экономических факторов обуславливают стохастический характер процессов формирования качества грузопотока полезного ископаемого. Однако процессы переработки сырья определяют необходимость подготовки и реализации продукции с четко детерминированным качеством. Поэтому промежуточные усреднительно-перегрузочные пункты являются неотъемлемой частью технологической цепи горного производства там, где требуются сортировка и стабилизация качественного состава минерального сырья.

Штабельное усреднение является наиболее эффективным способом усреднения сыпучих материалов, позволяющим получить высокое постоянство качественного состава сырья. Существуют различные схемы формирования насыпных складов: «страта» – наклонно-слоевой склад отвального типа, «шеvron» – склад хребтового типа, «виндров» – склад с шахматной структурой, «кельшале» – склад конусного типа. Процесс усреднения на насыпных складах выполняется в два этапа, включающих послынную укладку в штабель поступающих на склад исходных материалов и последующую разработку штабеля попеременно уложенным слоям.

Оборудование складов может включать в себя одно- и двухстреловые поворотные и неповоротные укладчики, скребковые, роторные стреловые и траншейные заборщики (реклаймеры), ленточные конвейеры, а также машины, совмещающие функции укладчиков и заборщиков [6]. Обычно складские машины перемещаются по рельсовому пути вдоль подошвы штабеля параллельно оси складского конвейера.

### **Объект исследования**

Буроугольный карьер «Profen» принадлежит горнодобывающему предприятию MIBRAG GmbH и располагается в Восточной Германии на территории земли Саксония-Анхальт. Карьер обеспечивает углем ряд электростанций крупной и средней мощности, а также завод по производству угольной пыли.

Добычное и вскрышное оборудование карьера состоит из 4-х роторных, 4-х цепных экскаваторов и 2-х отвалообразователей, на участках со сложными

геологическими условиями применяются гидравлические экскаваторы в комплексе с сочлененными автосамосвалами. Производственная мощность разреза составляет порядка 62 млн т горной массы в год, из которых 9 млн т – полезное ископаемое трех сортов: «КК1», «КК2» и «Staub».

На месторождении применяется поточная технология добычи и транспортировки угля по системе конвейеров до промежуточного перегрузочного пункта. Отсюда железнодорожным и автомобильным транспортом уголь доставляется потребителям. Склад угля представляет собой насыпной штабель, размещенный в приемной траншее, формируемый по принципу последовательной слоевой отсыпки. Он является многоцелевым и выполняет функции накопления, сортировки, усреднения и распределения добытой горной породы. В качестве складского оборудования применяются одностреловой поворотный укладчик A2Rs-B 10000 и роторный стреловой заборщик GSs 1200.

Потребность в угле различных сортов в течение года непостоянна: спрос на энергетические угли возрастает в зимние месяцы, в то время как на уголь сорта «Staub» летом. В подобных условиях важное значение имеет обоснование размеров секторов склада для каждого сорта угля.

### Расчет параметров штабельного склада

Определение параметров перегрузочного пункта начинается с изучения качественных и количественных характеристик материала, проходящего через склад и определяющего показатели грузопотока, под которым подразумевается количество груза, перемещаемого по заданному направлению за единицу времени [4]. Расчетные суточные грузопотоки материала  $i$ -го качества по прибытию на склад –  $I_i^n$  и по отправлению –  $I_i^o$ :

$$I_i^n = \frac{I_{ri}^n \cdot k_i^n}{T_i^n}, \quad I_i^o = \frac{I_{ri}^o \cdot k_i^o}{T_i^o}, \quad \text{т/сут}, \quad (1)$$

где  $I_{ri}^n$ ,  $I_{ri}^o$  – годовые величины прибытия и отправления материала  $i$ -го качества, т;  $k_i^n$ ,  $k_i^o$  – коэффициенты неравномерности прибытия и отправления (зависят от вида материала, ритмичности его поставок, характера технологического процесса; для нерудного минерального сырья лежат в пределах 1,1–1,25 [4]);  $T_i^n$ ,  $T_i^o$  – число рабочих дней перегрузочного комплекса в течение по приему и отправлению материала  $i$ -го качества.

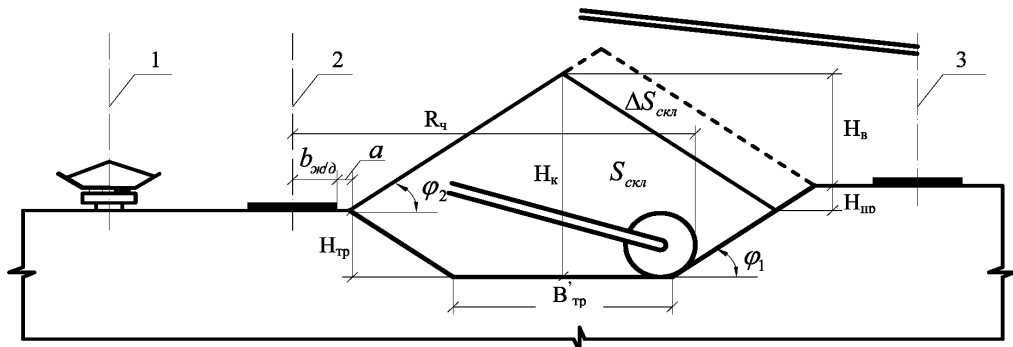
Общий объем погрузочно-разгрузочных работ за единицу времени:

$$V_{\text{п-р}} = \sum_{i=1}^n (I_i^n + I_i^o) \cdot k_i^m, \quad \text{т/сут}, \quad (2)$$

где  $n$  – количество наименований (сортов) минерального сырья;  $k_i^m$  – коэффициент перевалки материала  $i$ -го сорта.

Геометрическими параметрами перегрузочного склада заглубленного типа, определяющими его вместимость по длине, являются ширина и глубина приемной траншеи. В свою очередь, эти параметры зависят от характеристик оборудования. Таким образом, зная какое оборудование используется для формирования штабеля и отгрузки угля со склада, можно определить его вмещающую способность. На рис. 1 приведена схема для склада на перегрузочном пункте карьера «Profen».

Глубина приемной траншеи ( $H_{\text{тр}}$ ) определяется глубиной черпания роторного заборщика – реклаймера. Ширина траншеи по дну может быть рассчитана на основании радиуса черпания реклаймера:



**Рис. 1. Поперечный разрез склада угля на перегрузочном пункте карьера «Profen»:**  
 1 – ось складского выходного конвейера; 2 – ось хода реклаймера; 3 – ось хода укладчика

$$B'_{тр} = R_ч - \frac{1}{2}b_{ж/д} - a - H_{тр} \cdot ctg\varphi_1, \text{ м}, \quad (3)$$

где  $R_ч$  – радиус черпания реклаймера, м;  $b_{ж/д}$  – ширина железнодорожного полотна, м;  $a$  – расстояние от ж/д полотна до верхней бровки приемной траншеи, м;  $\varphi_1$  – угол откоса приемной траншеи (при отсутствии укреплений принимается равным естественному углу откоса пород, слагающих основание перегрузочного пункта), град.

Максимальная высота штабеля определяется следующим образом:

$$H_к = H_{тр} + H_в, \text{ м}, \quad (4)$$

где  $H_в$  – высота верхней части склада, м:

$$H_в = \frac{0,5B'_{тр} + H_{тр} \cdot ctg\varphi_1}{ctg\varphi_2}, \text{ м}, \quad (5)$$

где  $\varphi_2$  – угол естественного откоса отсыпаемого в штабель материала, град.

Площадь поперечного сечения штабеля может быть рассчитана по формуле:

$$S_{скл} = (B'_{тр} + H_{тр} \cdot ctg\varphi_1) \cdot H_{тр} + 0,5B_{тр} \cdot H_в, \text{ м}^2, \quad (6)$$

где  $B_{тр}$  – ширина склада по поверхности, м;

$$B_{тр} = B'_{тр} + 2ctg\varphi_1 \cdot H_{тр}, \text{ м}. \quad (7)$$

Однако площадь сечения, а следовательно, и вместимость склада могут быть увеличены смещением оси отсыпки штабеля в сторону укладчика. При этом максимально возможное приращение составит:

$$\Delta S_{скл} = \frac{H_{шп} \cdot H_в}{\sin\varphi_1 \cdot \sin\varphi_2}, \text{ м}^2, \quad (8)$$

где  $H_{шп}$  – величина превышения площадки расположения укладчика относительно площадки расположения роторного заборщика, м.

Одним из основных параметров склада является вместимость, характеризующая его способность размещать определенное количество материала одновременно. Установлению необходимой емкости перегрузочных пунктов посвящены работы многих ученых. Так В.В. Истоминым установлены зависимости емкости складов полезных ископаемых по условию надежности работы

погрузочно-транспортного и перерабатывающего оборудования [3]. И.И. Вашлаевым предложено определять минимальный необходимый объем сырья на складе в зависимости от величины допустимого отклонения его качества [2].

М.В. Васильев обосновал целесообразную величину запасов минерального сырья, при которой затраты на создание и содержание склада ( $C_c$ ) и возможные убытки, связанные с нехваткой сырья на складе ( $C_v$ ), были бы минимальными [1]. Однако такая методика может быть применима лишь в случаях, когда на карьере имеются резервы в виде других перегрузочных пунктов, достаточные, чтобы перекрыть нехватку минерального сырья на одном из участков. В случае, когда склад один, а сроки поступления сырья на переработку строго регламентированы, использование такого принципа работы сопровождается высокими рисками срыва поставок, что в условиях энергетического производства недопустимо.

Анализ литературы позволяет сделать выводы, что емкость склада минерального сырья зависит от его назначения, величины грузооборота, колебаний качественного состава полезного ископаемого, режима работы комплекса оборудования в карьере, на складе и на перерабатывающем производстве. И в каждом случае должна определяться индивидуально. Упрощенная формула для ее расчета выглядит следующим образом:

$$V_{скл} = \frac{I_i^o \cdot k_i^o \cdot m}{\gamma_p}, \text{ м}^3, \quad (9)$$

где  $m$  – количество суток, на которое рассчитывается запас сырья на складе;  $\gamma_p$  – насыпная плотность горной массы, т/м<sup>3</sup>.

В условиях неравномерности объемов потребления сырья нескольких сортов, например угля, емкость склада целесообразно рассчитывать следующим образом. Для обеспечения стабильного снабжения заказчиков сырьем необходимо иметь запас угля  $i$ -го сорта на складе. Таким образом, возможное время начала отгрузки угля со склада после начала его добычи в карьере (при условии отсутствия запасов сырья):

$$T_{Hi} = \frac{|Z \min_i|}{I_i^o}, \text{ мес}, \quad (10)$$

где  $Z \min_i$  – минимум разности между нарастающими объемами поступления и отгрузки угля со склада:

$$Z \min_i = \min\left(\sum_{n=1}^T I_i^n - \sum_{n=1}^T I_i^o\right), \text{ млн т}, \quad (11)$$

где  $T$  – рассматриваемый период времени, мес.

Максимальная емкость сектора склада для угля  $i$ -го сорта рассчитывается по формуле:

$$V \max_i = Z \max_i - Z \min_i, \text{ млн т}, \quad (12)$$

где  $Z \max_i$  – максимум разности между нарастающими объемами добычи поступления и отгрузки угля со склада со времени  $T_{Hi}$ :

$$Z \max_i = \max\left(\sum_{n=T_{Hi}}^T I_i^n - \sum_{n=T_{Hi}}^T I_i^o\right), \text{ млн т}. \quad (13)$$

В период накопления – с начала подготовки запасов до начала потребления угля его количество на складе определяется календарным планом добычи:

$$Vn_i = \sum_{n=1}^{T_H} I_i^n, \text{ млн т.} \quad (14)$$

В период одновременной добычи и потребления угля динамика изменения его количества на складе описывается следующим образом:

$$Vo_i = \sum_{n=T_H}^T I_i^n - \sum_{n=T_H}^T I_i^o - Z \min_i, \text{ млн т.} \quad (15)$$

Зная максимальную необходимую вместимость секторов склада, можно определить длину каждого сектора и общую длину склада:

$$L_{\text{общ}} = \sum_{m=1}^i L_i = \sum_{m=1}^i \frac{V_{\max i}}{S_{\text{скл}} \cdot k_{\text{нз}}}, \text{ м.} \quad (16)$$

где  $k_{\text{нз}}$  – коэффициент неравномерности заполнения склада ( $k_{\text{нз}} = 0,85 - 0,9$ ).

### Результаты исследования

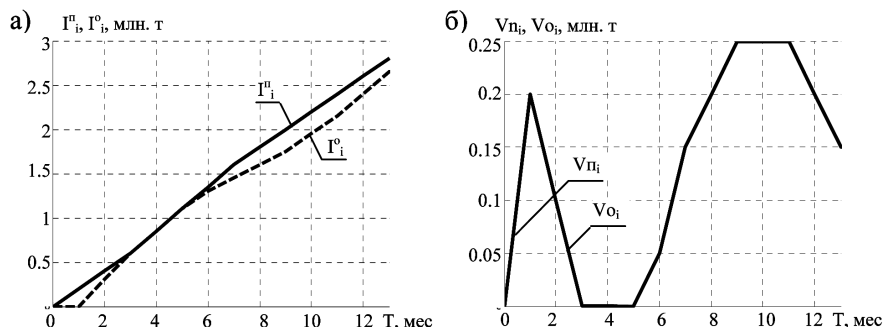
Рассмотрим описанный алгоритм на конкретном примере. Расчеты показывают, что при ширине приемной траншеи по дну и ее глубине соответственно 12 м и 5 м вместимость угольного склада составит порядка 54 000 тонн на 100 м длины траншеи.

Зададим следующие величины грузопотока угля  $i$ -го сорта в млн т через промежуточный пункт на период  $T$ , равный 1 году (таблица).

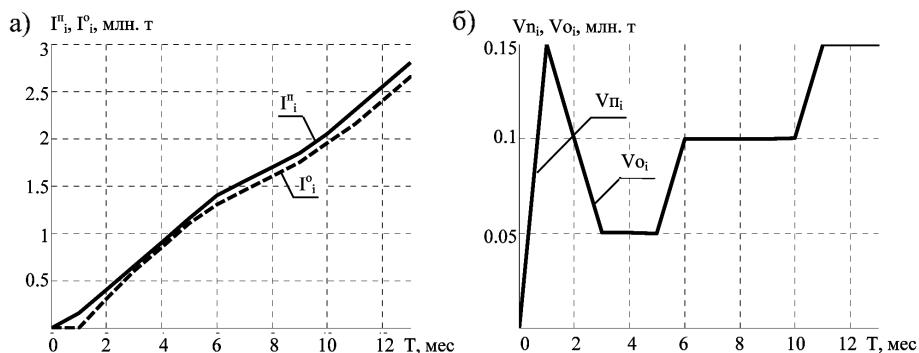
На рис. 2 приведены основные данные по движению запасов угля через промежуточный пункт.

На рис. 2, а разница ординат в каждый момент времени между кривой, соответствующей величине поступления угля на склад ( $I_i^n$ ), и кривой, отражающей объемы его отгрузки со склада ( $I_i^o$ ), соответствует количеству угля на складе в данный момент времени. В том случае, когда весь находящийся на складе

	Месяц, млн.т												За год, млн.т	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
$I_i^n$	0,2	0,2	0,2	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,2	2,8
$I_i^o$	0,3	0,3	0,25	0,25	0,2	0,15	0,15	0,15	0,2	0,2	0,25	0,25	0,25	2,65



**Рис. 2. Основные показатели грузопотока: а) графики изменения нарастающего количества поставляемого на склад и отгружаемого угля, б) график изменения количества угля на складе**



**Рис. 3. Показатели грузопотока после корректировки производительности карьера по углю: а) графики изменения нарастающего количества поставляемого на склад и отгружаемого угля, б) график изменения количества угля на складе**

запас сырья исчерпан, графики касаются друг друга. Пересечение кривой  $I_i^O$  с осью абсцисс определяет окончание периода накопления сырья на складе и начало его отгрузки.

На рис. 2, б показана динамика изменения количества угля на складе в течение рассматриваемого времени. В течение первого месяца происходит накопление угля до величины 200 тыс. т, что обеспечит бесперебойное снабжение потребителей в дальнейшем. Также из графика видно, что в период с 3-го по 5-ый месяц запасы угля на складе будут практически выработаны, данный период будет характеризоваться высоким риском возникновения перебоев в поставках сырья заданного качества и количества. Затем мы наблюдаем постоянный рост количества угля на складе и выход на максимальную емкость в размере 250 тыс. т в 11-ом месяце. Очевидно, что такие запасы на складе чрезмерны и приведут к увеличению затрат на его содержание.

Корректируя производительность карьера по углю, мы можем снивелировать величину колебания запасов на складе. На рис. 3 представлены результаты, полученные при изменении графика добычи. При этом годовая производительность карьера осталась на том же уровне.

В результате корректировки плана добычи удалось добиться уменьшения запасов угля на складе на 40% от первоначально рассчитанного. При этом в течение рассматриваемого периода времени поддерживается запас угля в количестве не менее 50 тыс. т, что обеспечивает возможность усреднения материала. Запас угля на конец периода в количестве 150 тыс. т обеспечит необходимый резерв в дальнейшей работе предприятия.

## Выводы


Пункты перегрузки горной массы на карьерах имеют многоцелевое назначение, выполняя одновременно несколько функций. Комплексный подход к их проектированию позволяет сократить затраты на создание и эксплуатацию. Имея данные по количеству сырья, согласно заявкам потребителей, и используя описанную методику, мы можем спрогнозировать емкость склада при различных вариантах работы карьера. Это дает возможность, управляя добычными работами в карьере, добиться такого режима, при котором на складе будет концентрироваться минимально необходимый запас минерального сырья, обеспечивающий его качественное усреднение и бесперебойное снабжение

потребителей. Так же можно рассчитать, какое количество горной породы необходимо сосредоточить на складе к началу нового этапа работы.

В связи с постоянно ухудшающимися горно-геологическими условиями разработки месторождения возможно наступление такого момента, когда емкость склада перестает обеспечивать соответствующую степень усреднения минерального сырья. Основываясь на опыте работы бурогольного карьера «Profen», можно выделить следующие технологические решения: применение селективной выемки в добычных забоях карьера, изменение схем формирования штабеля и отгрузки сырья со склада, увеличение приемной способности склада. При этом первые два варианта негативно сказываются на производительности карьера.

---

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Васильев М.В. Особенности устройства и параметры карьерных перегрузочных складов // Горный журнал. – 1977. – № 10. – С. 34–38.
2. Вашлаев И.И., Селиванов А.В. Определение минимального объема руды в усреднительном складе в зависимости от величины допустимого отклонения параметра качества // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2004. – № 11. – С. 190–192.
3. Истомин В.В. Установление вместимости перегрузочного пункта с учетом надежности работы погрузочно-транспортных комплексов оборудования // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 1993. – Вып. 7–8. – С. 12–15.
4. Журавлев Н.П., Маликов О.Б. Транспортно-грузовые системы – М.: УМНЦ, 2005. – 629 с.
5. Официальный сайт компании MIBRAG GmbH: <http://www.mibrag.de>
6. Официальный сайт ОАО «МК ОРМЕТО-ЮУМЗ»: <http://www.ormeto-yumz.ru>
7. Detlef Trummer. Coal quality management in MIBRAG mines. International Workshop on Coal Quality Management / Lazarevac, 9 June 2011. 

---

## КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Якубовский Матвей Матвеевич – кандидат технических наук, ассистент кафедры, e-mail: [matvey-85@mail.ru](mailto:matvey-85@mail.ru),  
Аргимбаев Каербек Рафкатович – кандидат технических наук, ассистент кафедры, e-mail: [diamond-arg@mail.ru](mailto:diamond-arg@mail.ru),  
Национальный минерально-сырьевой университет «Горный».

---

UDC 662.642

## METHOD OF DETERMINATION OF RAW MATERIALS' AMOUNT ON A BULK STOCKYARD

Yakubovskiy M.M., Candidate of Technical Sciences, Assistant of Chair, e-mail: [matvey-85@mail.ru](mailto:matvey-85@mail.ru),  
Argimbaev K.R., Candidate of Technical Sciences, Assistant of Chair, e-mail: [diamond-arg@mail.ru](mailto:diamond-arg@mail.ru),  
National Mineral Resource University «University of Mines», 199106, Saint-Petersburg, Russia.

---

*A review of methods of bulk stockyards organization. The method of calculating stockyards capacity in case of irregular minerals extraction is considered, measures to increase the intake capacity are reviewed.*

*Key words: capacity, cargo traffic, bulk stockyard, concentration trench, lignite, averaging, pile.*

## REFERENCES

1. Vasil'ev M.V. *Gornyi zhurnal*. 1977, no 10, pp. 34–38.
2. Vashlaev I.I., Selivanov A.V. *Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten'*. 2004, no 11, pp. 190–192.
3. Istomin V.V. *Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten'*. 1993, issue 7–8, pp. 12–15.
4. Zhuravlev N.P., Malikov O.B. *Transportno-gruzovye sistemy* (Transport and freight system), Moscow, UMNTs, 2005, 629 p.
5. URL: <http://www.mibrag.de>
6. URL: <http://www.ormeto-yumz.ru>
7. Detlef Trummer. *Coal quality management in MIBRAG mines. International Workshop on Coal Quality Management*. Lazarevac, 9 June 2011.