

УДК 622.271.3

**АКТУАЛИЗАЦИЯ АНАЛИТИЧЕСКОГО МЕТОДА ОПРЕДЕЛЕНИЯ
ВМЕСТИМОСТИ ВНУТРЕННИХ БЕСТРАНСПОРТНЫХ ОТВАЛОВ**

Яковлев А.С., студент гр. ГОс-201, VI курс
Доровских А.С., студент гр. ГОс-221, IV курс
Мальцев М.С., студент гр. ГОс-221, IV курс
Марков С.О., к.т.н., доцент
Тюленев М.А., к.т.н., доцент

Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева
г. Кемерово

Бестранспортная система разработки месторождений (по классификации академика Н.В. Мельникова [1]), или углубочно-сплошная (по классификации академика В.В. Ржевского [2]) наиболее соответствует горно-геологическим и горнотехническим условиям ведения вскрышных работ на карьерах с горизонтальным и пологим залеганием пластов, что является актуальным в условиях Кузбасса. Экономическая эффективность бестранспортной системы достигается за счёт исключения из технологической цепи наиболее затратного элемента – транспортировки вскрышных пород автомобильным или железнодорожным транспортом, что позволяет снизить себестоимость 1 м³ вскрыши в несколько раз по сравнению с транспортной технологией.

Бестранспортная технология базируется на принципе непосредственного перемещения вскрышных пород из забоя во внутренний отвал, расположенный в выработанном пространстве карьера. Оптимальными для бестранспортной системы считаются пласты с углами падения до 14°, однако применение дополнительных противооползневых мероприятий [3-5] позволяет расширить область применения технологии вплоть до 20°.

В настоящей работе нами предпринята попытка провести сравнение результатов расчета параметров бестранспортных технологических схем, выполненных графическим и аналитическим методами. Оба метода имеют свои преимущества: графический метод более нагляден и точен для сложных горно-геологических и горнотехнических условий [6-8], а аналитический – быстрее и проще для типовых условий. На практике часто применяют комбинированный подход, используя аналитический метод для предварительных расчётов и графический – для окончательного проектирования. Результаты сравнительного анализа различных вариантов при изменении углов падения пласта и результирующего угла отвала представлены ниже. Этот анализ в дальнейшем позволит выработать практические рекомендации по оптимизации параметров отвалов для конкретных горно-геологических условий. Аналитический метод основан на использовании математических формул для расчёта параметров отвала. Его отличие

заключается в возможности быстрого получения результатов без трудоёмких графических построений.

Рассмотрим пример расчёта ёмкости двухъярусного отвала. Ёмкость предотвала определяется по формуле:

$$E_1 = A_{г1} \cdot (H_{я1} + h_{01} - 0,5 \cdot A \cdot \sin \varphi), \text{ м}^2;$$

где E_1 – ёмкость предотвала, м^2 ; $A_{г1}$ – горизонтальная ширина отвальной заходки, м; $H_{я1}$ – высота первого предотвала, м; h_{01} – величина понижения высоты предотвала из-за наклона его основания, м; A – ширина отвальной и вскрышной заходок, м; φ – угол падения пласта, градус:

$$A_{г1} = A \cdot [1 - (\operatorname{tg} \varphi \cdot \operatorname{ctg} \alpha_{01})],$$

где α_0 – угол откоса предотвала.

$$h_{01} = H_{я1} \cdot \frac{\operatorname{tg} \alpha_{01}}{\operatorname{ctg} \varphi - \operatorname{tg} \alpha_{01}},$$

Ёмкость второго яруса определяется по формуле:

$$E_2 = A_{г2} \cdot H_{я2} + E_{\Delta 2} - E_{п2}, \text{ м}^2,$$

где $A_{г2}$ – горизонтальная ширина второго яруса, м; $H_{я2}$ – высота второго яруса отвала, м; $E_{\Delta 2}$ – величина недоиспользуемой ёмкости второго яруса отвала по разгрузочным параметрам драглайна, м; $E_{п2}$ – величина понижения ёмкости второго яруса из-за пологого залегания пластов, м.

$$A_{г2} = A \cdot [1 - (\operatorname{tg} \varphi \cdot \operatorname{ctg} \alpha_0)],$$

где α_0 – угол откоса второго яруса отвала.

$$E_{\Delta 2} = 0,25 \cdot \Delta_2^2 \cdot \operatorname{tg} \alpha_0,$$

$$\Delta_2 = C + H_{я2} \cdot \operatorname{ctg} \alpha_0 + A_{г2} - R_{п2},$$

где C – расстояние от оси хода экскаватора до нижней бровки отвального яруса, м (для экскаватора ЭШ 20.90 – 13-15 м); $R_{п2}$ – радиус разгрузки драглайна, м (для экскаватора ЭШ 20.90 – 83 м).

$$E_{п2} = h_{\varphi} \cdot (A_{г2} + B_2 - A_{г1}) + \frac{h_{\varphi}^2 (\operatorname{ctg} \alpha_0 - \operatorname{ctg} \alpha_{01})}{2}$$

где h_{φ} – величина понижения отвального слоя между двумя смежными отвальными заходками, м; B_2 – ширина площадки между предотвалом и вторым ярусом отвала, определяемая из условия обеспечения устойчивости отвалов.

$$h_{\varphi} = A \cdot \operatorname{tg} \varphi.$$

В общем случае ширина площадки зависит от величины генерального угла откоса и для двухъярусного отвала рассчитывается по формуле:

$$B_2 = (H_{я1} + h_{01} + H_{я2}) \cdot \operatorname{ctg} \beta - (H_{я1} + h_{01}) \cdot \operatorname{ctg} \alpha_{01} - H_{я2} \cdot \operatorname{ctg} \alpha_0.$$

Если $B_2 \geq A_{г1}$, величина понижения ёмкости определяется из выражения:

$$E_{п2} = h_{\varphi} \cdot A_{г2}$$

Исходные данные для расчета:

1. $\alpha_{01} - 43^\circ$;
2. $\alpha_0 - 37^\circ$;
3. $\varphi - 3^\circ$;
4. $\beta - 31^\circ$;

5. $H_{я1} - 35$ м;

6. $H_{я2} - 25$ м.

Расчет параметров:

$$A_{г1} = 40 \cdot [1 - (tg3^\circ \cdot ctg43^\circ)] = 37,75, \text{ м},$$

$$h_{01} = 35 \cdot \frac{tg43^\circ}{ctg3^\circ - tg43^\circ} = 1,80, \text{ м},$$

$$E_1 = 37,75 \cdot (35 + 1,8 - 0,5 \cdot A \cdot \sin3^\circ) = 1349,70, \text{ м}^2.$$

$$A_{г2} = 40 \cdot [1 - (tg3^\circ \cdot ctg37^\circ)] = 37,22, \text{ м},$$

$$\Delta_2 = 14 + 25 \cdot ctg37^\circ + 37,22 - 83 = 1,39,$$

$$E_{\Delta 2} = 0,25 \cdot 1,39^2 \cdot tg37^\circ = 0,37, \text{ м}^2,$$

$$h_\varphi = 40 \cdot tg3^\circ = 2,10, \text{ м},$$

$$B_2 = (35 + 1,8 + 25) \cdot ctg31^\circ - (35 + 1,8) \cdot ctg43^\circ - 25 \cdot ctg37^\circ = 30,21, \text{ м}$$

Так как в данном случае значение $B_2 \geq A_{г1}$, считаем величину понижения емкости по альтернативной формуле

$$E_{п2} = 2,10 \cdot 37,22 = 78,02, \text{ м}^2,$$

$$E_2 = 37,22 \cdot 25 + 0,37 - 78,02 = 852,80, \text{ м}^2$$

$$E = E_1 + E_2 = 1349,70 + 852,80 = 2202,49, \text{ м}^2.$$

Итоговые значения сведены в табл. 1.

Таблица 1 – Различие результатов расчета вместимости

Разность вместимости между графическим и аналитическим методом					
	абсолютная, м ² , при $\varphi = 3-11^\circ$				
β	3	5	7	9	11
31	210,8	190,8	143,2	91,4	59,8
30	111,2	71,4	38,6	6,3	-28,3
29	-8,5	-34,4	-60,7	-89,9	-121,8
28	-120,0	-139,8	-161,8	-190,0	-217,3
27	-232,5	-251,7	-275,2	-281,7	-291,4
	относительная, %, при $\varphi = 3-11^\circ$				
β	3	5	7	9	11
31	8,7	8,4	6,8	4,7	3,4
30	4,8	3,3	1,9	0,3	-1,7
29	-0,4	-1,7	-3,3	-5,3	-8,0
28	-5,8	-7,3	-9,3	-12,1	-15,6
27	-11,9	-14,2	-17,2	-20,4	-22,0

Анализ результатов

Проведенные исследования были направлены на сравнительную оценку двух основных методов расчета вместимости отвалов при использовании бестранспортной технологии – аналитического и графического.

Как показывают расчеты, оба метода демонстрируют сопоставимые результаты при значениях результирующего угла 29-30°, разница колеблется от 0,3% до 8%. Однако с уменьшением угла до 27° наблюдается

прогрессирующее расхождение в показателях. Для отвала с результирующим углом 31° и углом падения пласта 3° разница между расчетами с применением разных методов составляет $210,8 \text{ м}^2$ (8,7%), тогда как при 11° она возрастает до $281,7 \text{ м}^2$ (22,0%) в пользу аналитического метода. Это свидетельствует о том, что графический метод более чувствителен к изменению горно-геологических условий.

При анализе табличных данных было выявлено несколько закономерностей. Во-первых, для любого фиксированного результирующего угла увеличение угла падения пласта приводит к снижению полезного объема, что вполне логично. Во-вторых, графический метод показывает более высокую чувствительность к изменению параметров, что, вероятно, связано с лучшим учетом реальной геометрии.

Интересно отметить, что аналитический метод дает более сглаженные зависимости. Так, при изменении угла падения на каждые 2° потеря емкости составляет примерно 4–5%, тогда как для графического метода этот показатель достигает 7–9%. Это позволяет предположить, что в аналитическом методе существует некий неучтенный фактор, который не позволяет в полной мере учесть реальную геометрию отвала.

С практической точки зрения, полученные результаты важны для проектирования новых участков на разрезах со сложной геологической структурой, где применение графического метода позволит избежать завышения объемов складирования по сравнению с традиционными аналитическими расчетами.

Особого внимания заслуживает анализ оптимальных параметров отвала. Расчеты показывают, что изменения прироста емкости с увеличением результирующего угла с 27° до 31° при любых значениях угла падения не имеют какого-либо системного характера для графического метода, тогда как для аналитического прослеживается постоянный прирост вместимости. Однако такой выигрыш должен быть соотнесен с требованиями устойчивости отвального массива, особенно при наличии обводненных пород.

Таким образом, проведенный анализ не только подтвердил ожидаемую зависимость емкости отвала от углов падения пласта и результирующего угла, но и выявил существенные различия в расчетах при использовании аналитического и графического методов. Эти различия необходимо учитывать при расчетах.

Выводы

1. Методы демонстрируют систематическое расхождение в результатах. При сравнении расчетов было выявлено, что графический метод, как правило, дает большие значения емкости при высоких значениях результирующего угла откоса ($\beta = 30 - 31^\circ$). Однако при уменьшении угла β до $27 - 28^\circ$ ситуация меняется на противоположную, и уже аналитический метод показывает большие объемы, достигая разницы в 22%, таблица №. 2.5.3

2. Наличие систематической погрешности. Анализ показал, что расхождения носят не случайный, а закономерный характер. Они устойчиво зависят от ключевых параметров — результирующего угла откоса (β) и угла падения пласта (φ).

3. Создание и внедрение поправочного коэффициента. Исходя из полученных результатов создание поправочного коэффициента является необходимым шагом, который позволит повысить точность расчетов, снизить риски завышения или занижения полезного объема отвала и уберет необходимость постоянной перепроверки графическим методом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Теория и практика открытых разработок / Н. В. Мельников, А. И. Арсентьев, М. С. Газизов [и др.]. – Москва : Издательство «Недра», 1973. – 636 с. – EDN TVOOYH.
2. Ржевский, В. В. Открытые горные работы. Ч. I. Производственные процессы: учеб. для вузов. – М.: Недра, 1985. – 509 с.
3. Шушкина, О.И. Исследование устойчивости внутренних бестранспортных отвалов : на примере Талдинского и Томусинского месторождений Кузбасса : диссертация ... кандидата технических наук : 05.15.03. - Москва, 1973. - 294 с.
4. Демин, А.М. Устойчивость откосов на открытых разработках в связи с технологией работ : диссертация ... доктора технических наук : 05.15.03. - Москва, 1974. - 352 с.
5. Хашин, В.Н. Технологические способы повышения устойчивости внутренних отвалов на разрезах Кузбасса : диссертация ... кандидата технических наук : 05.15.03. – Прокопьевск, 1983. – 253 с.
6. Modeling of Three Flat Coal Seams Strata Developing at Open Pit Miming / T. Gvozdkova, S. Markov, N. Demirel, S. Anyona // E3S Web of Conferences : The Second International Innovative Mining Symposium, Kemerovo, 20–22 ноября 2017 года. Vol. 21. – Kemerovo: EDP Sciences, 2017. – P. 01024. – DOI 10.1051/e3sconf/20172101024. – EDN ZRNESR.
7. Исследование технологии выемки угля драглайнами при поперечных системах разработки наклонных и крутых пластов / Е. В. Макридин, С. М. Милый, А. Б. Ефременков [и др.] // Техника и технология горного дела. – 2025. – № 4(31). – С. 88-106. – DOI 10.26730/2618-7434-2025-4-88-106. – EDN NUWTNM.
8. Бестранспортная технология разработки законсервированных запасов угля по пласту VI на разрезе "Томусинский" / М. А. Тюленев, С. О. Марков, А. Б. Паламарчук, Т. Н. Гвоздкова // Техника и технология горного дела. – 2020. – № 3(10). – С. 18-57. – DOI 10.26730/2618-7434-2020-3-18-57. – EDN NYCIVS.