УДК 622.822.22:622.271.322.23

Яковлев Алексей Сергеевич, аспирант
Марков Сергей Олегович, доц., к.т.н.
Тюленев Максим Анатольевич, доц., к.т.н.
(КузГТУ, г. Кемерово)
Alexey S. Yakovlev, postgraduate student
Sergey O. Markov, Associate Prof., PhD (Eng.)
Maxim A. Tyulenev, Associate Prof., PhD (Eng.)
(KuzSTU, Kemerovo)

ОБ ОПРЕДЕЛЕНИИ ВМЕСТИМОСТИ ВНУТРЕННИХ ОТВАЛОВ: ГРАФИЧЕСКИЙ МЕТОД
ON DETERMINING THE CAPACITY OF INTERNAL DUMPS: A GRAPHICAL METHOD

Современная горнодобывающая промышленность России сталкивается с необходимостью повышения эффективности открытой разработки угольных месторождений в условиях возрастающих экологических требований и экономических вызовов. Особую значимость эта проблема приобретает для Кузбасса и Хакасии – угольных регионов страны, где существенная часть месторождений характеризуется пологим залеганием пластов, создающим предпосылки для применения бестранспортной технологии.

Бестранспортная технология основана на непосредственном перемещении вскрышных пород в выработанное пространство карьера. Основное выемочно-погрузочное оборудование в данном случае – драглайны. Их применение позволяет снизить себестоимость вскрышных работ за счет исключения затрат на транспортную составляющую. Необходимо учесть, что область применения бестранспортной технологии достаточно ограничена малым диапазоном горно-геологических условий и включает только горизонтальное или пологое залегание пластов. Согласно классификации угольных пластов по углу падения, разработанной проф. В.Ф. Колесниковым [1], объектом бестранспортной технологии могут являться пласты с углами падения до 14°. Из-за жесткой взаимопривязки объемов породы на забойной и на отвальной стороне технологической схемы (вся вскрыша должна полностью быть размещена во внутреннем отвале) весьма важную роль играет точность определения параметров внутренних отвалов, особенно их предельной вместимости. Вышесказанное обусловливает необходимость совершенствования методов расчета и проектирования параметров бестранспортной технологии разработки.

Особую сложность представляет учет влияния угла падения пласта на емкость отвала, поскольку даже незначительные изменения геометрии

залегания могут существенно повлиять на объемы породы, отсыпаемые во внутренний отвал. Эта проблема особенно актуальна для условий, где углы падения пластов варьируются в широком диапазоне, требуя индивидуального подхода к проектированию для каждого участка. Теоретические основы бестранспортной технологии были заложены в ряде работ, среди которых необходимо отметить [2-7]. Однако современные условия ведения горных работ, характеризующиеся применением нового оборудования и ужесточением экологических требований, требуют дальнейшего развития существующих методик [8, 9].

Вышеприведенные предпосылки предопределили постановку следующих задач исследования:

- Провести анализ существующих методов расчета емкости отвалов (аналитического и графического) и оценить их применимость для условий пологого залегания пластов.
- Исследовать влияние угла падения пласта и результирующего угла откоса отвала на предельную вместимость отвала.
- Выполнить сравнительный анализ точности аналитического и графического методов расчета при различных горно-геологических условиях.

В дальнейшем планируется разработать систему практических рекомендаций по выбору оптимальных параметров отвалов для различных горно-геологических условий угольных разрезов.

Поставленные задачи позволили сформулировать примерные описания объекта и предмета исследования.

Объектом исследования являются внутренние отвалы, отсыпаемые при бестранспортной технологии горных работ на угольных разрезах с пологим залеганием пластов.

Предмет исследования – структура внутренних отвалов в зависимости от горно-геологических и горнотехнических факторов при бестранспортной технологии.

На первом этапе выполнения работы предполагается:

- установить количественные зависимости между углом падения пласта и предельной вместимостью отвала для условий Кузбасса;
- выполнить сравнительную оценку точности аналитического и графического методов расчета при различных горно-геологических условиях.

Практическая значимость: результаты работы могут быть использованы при проектировании и эксплуатации угольных разрезов России для оптимизации параметров отвалообразования, повышения эффективности использования выработанного пространства и снижения себестоимости вскрышных работ.

Графический метод представляет собой классический подход, основанный на построении системы поперечных сечений в установленном масштабе с последующим измерением площадей этих сечений и вычислением объёмов. Исторически этот метод широко использовался и в советской горной школе благодаря своей наглядности и достаточно высокой точности.

Методологическая основа графического метода базируется на принципах начертательной геометрии. Его сущность заключается в точном определении объёмов сложных геометрических тел через их расчленение на ряд последовательных сечений. Применительно к отвалам это предполагает создание системы параллельных разрезов, перпендикулярных продольной оси отвала. Расстояние между сечениями выбирается в зависимости от сложности рельефа и требуемой точности расчётов, обычно составляя от 10 до 25 метров.

Современная практика проектирования показывает, что классический графический метод реализуется с использованием компьютерных технологий. Специализированные программы (AutoCAD, nanoCAD, Компас) позволяют не только автоматизировать процесс построений, но и значительно повысить точность измерений. Например, функция автоматического вычисления площадей сложных контуров в CAD-системах позволяет избежать субъективных ошибок, присущих ручным измерениям.

В настоящей работе рельеф поверхности не учитывается и принят равнинной поверхностью.

Практический пример построения профиля бестранспортной схемы экскавации

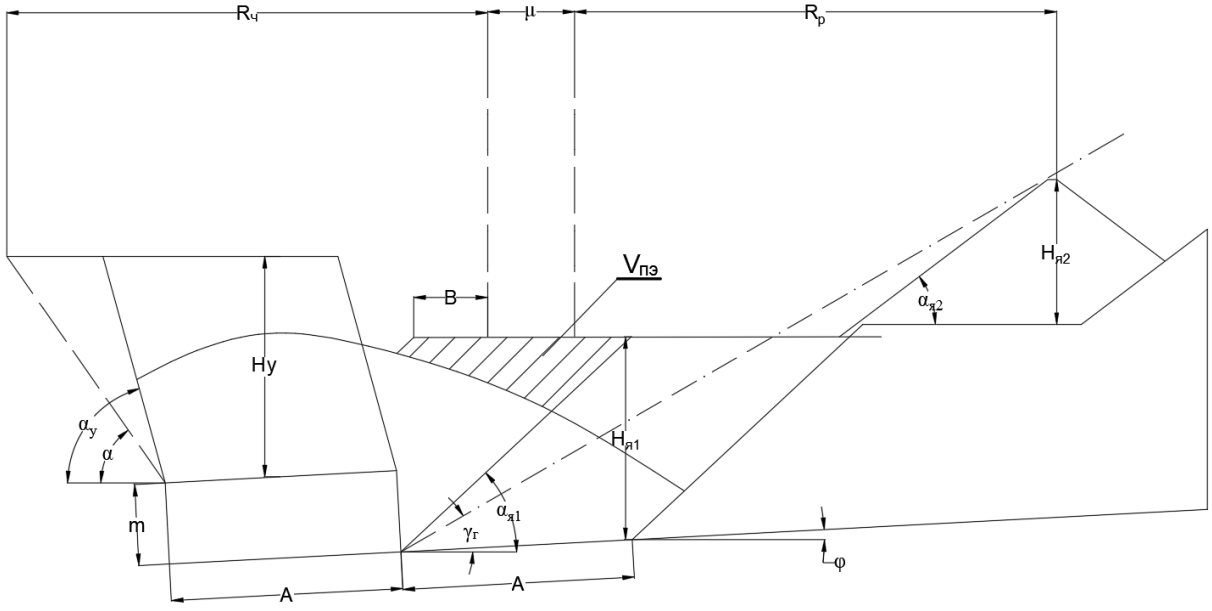

Рис. 1. Пример конечного этапа при построении профиля бестранспортной схемы экскавации.

1. **Подготовительный этап**: для начала построения необходимо начертить линию под углом φ (угол падения пласта), далее нанести контур отрабатываемого пласта с мощностью m и шириной A (ширина отвальной и вскрышной заходки). После этого наносим второй отрезок равный A и проводим линию под углом β (генеральный угол откоса отвала).

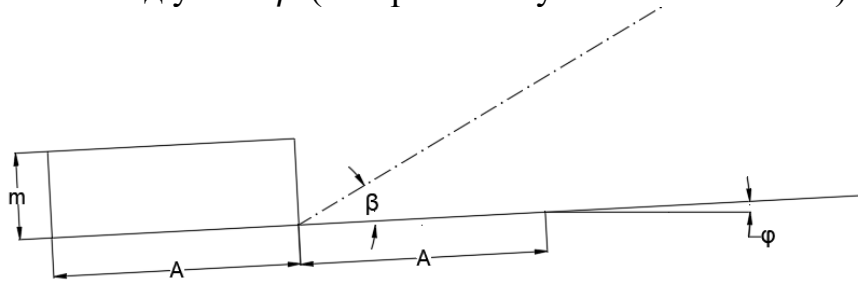

Рис. 2. Подготовительный этап

2. **Построение первого яруса**: после нанесения второго отрезка равного А проводится линия под углом β (генеральный угол откоса отвала). Для первого яруса отвала высотой $Hя_1$и углом откоса α_{01} важно точно выдержать проектные параметры, поскольку они определяют устойчивость всего отвального массива.

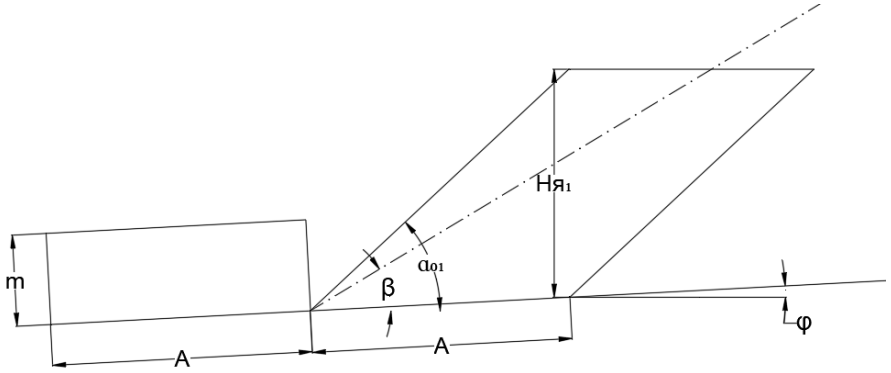

Рис. 3. Построение первого яруса

3. **Контур предыдущей заходки**: при построении контура предыдущей отвальной заходки необходимо учитывать h_φ – величину понижения отвального слоя между двумя смежными отвальными заходками.

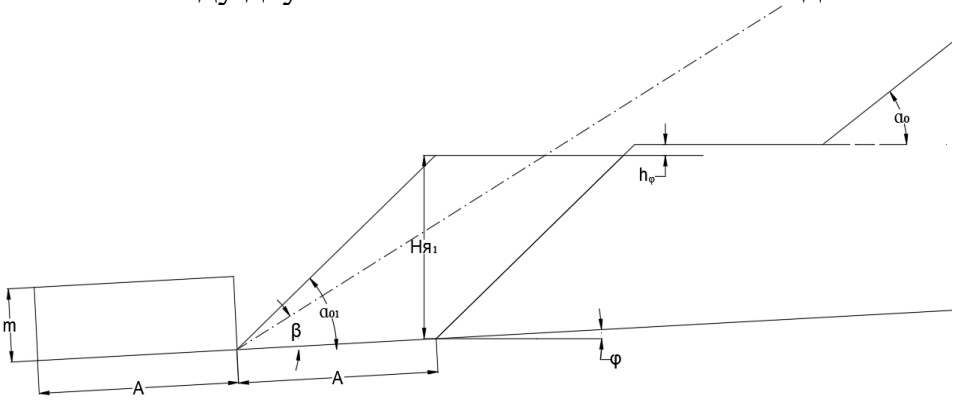

Рис. 4. Построение второго яруса

4. **Построение вскрышного уступа**: так как для построения второго яруса отвала требуется знать расстояние, на которое технически возможно переместить вскрышу, строим вскрышной уступ с высотой $H_{\text{у}}$, которая выбирается ориентировочно (для экскаватора ЭШ 20.90 – 30-40 метров) и углами α и $\alpha_{\text{у}}$, рабочий и устойчивый угол соответственно. Наносим радиус черпания $R_{\text{ч}}$, радиус разгрузки $R_{\text{р}}$ и μ – величину смещения оси хода, которая позволяет увеличить разгрузочную возможность экскаватора ($\mu \leq 0{,}4 \cdot R_{\text{р}}$). Далее строим второй ярус отвала с высотой $Hя_2$ и углом откоса α_0.

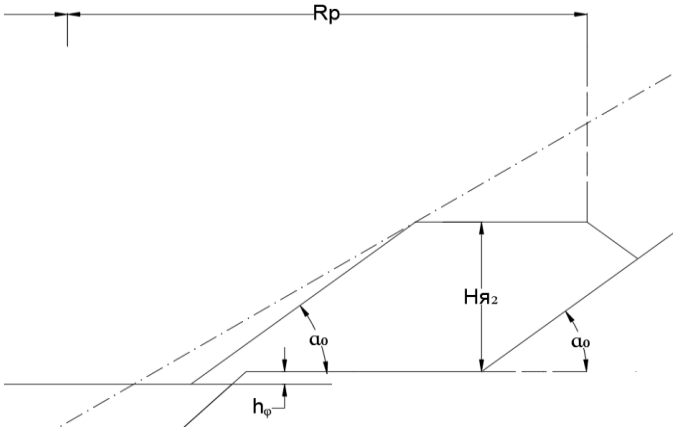

Рис. 5. Построение второго яруса

5. С помощью инструментов программного обеспечения CAD-систем определяем площадь поперечного сечения отвала.

6. **Контрольные расчеты**: завершающим этапом является проверка соответствия объёмов по формуле:

$$H_{\text{у}} \cdot A \cdot K_{\text{р}} = S_{\text{о}},$$

где $K_{\text{р}}$ – коэффициент разрыхления породы (в данном расчете принимался равным 1,35); $S_{\text{о}}$ – площадь сечения отвала (измеряется графоаналитическим методом как сумма площади первого и второго яруса отвала).

В случае, если равенство не выполняется – производится корректировка $H_{\text{у}}$ и повторение пунктов 4-6.

Следующим этапом исследований запланировано выполнение расчета вместимости внутреннего многоярусного отвала аналитическим методом и сравнение полученных значений с результатами, определенными графическим методом. Предполагается установить качественное и количественное расхождение вышеупомянутых величин. Предварительные примерные расчеты свидетельствуют о том, что результаты, полученные обоими способами, имеют практически полное совпадение (т.е., по сути, тот результат, который и должен был получиться) только в весьма узком диапазоне горно-геологических условий, что подтверждает актуальность настоящего исследования и необходимость его дальнейшего развития.

Список литературы

1. Колесников В.Ф. Развитие и обоснование способов и схем вскрытия рабочих горизонтов угольных карьеров : специальность 05.15.03 : дис. ... докт. техн. наук. – Кемерово, 1999. – 325 с.
2. Лоханов Б.Н. Исследование параметров бестранспортной системы разработки свиты пологих пластов: Автореф. дис.. канд. техн. наук. - М., 1969. - 23 с.
3. Воронков В.Ф. Обоснование технологии интенсивной разработки вскрышных надугольных горизонтов с размещением породы во внутренних отвалах на разрезах южного Кузбасса: Автореф. дис.. канд. техн. наук. - М., 1989. - 19 с.
4. Вагоровский В.С. Исследование рациональных параметров бестранспортных систем разработки пологих угольных пластов: Автореф. дис.. канд. техн. наук. - М., 1975. - 23 с.
5. Проноза В.Г. Обоснование структуры эффективных технологических комплексов перевалки вскрышных пород: Автореф. дис.. докт. техн. наук. - Кемерово, 1992. - 41 с.
6. Васильев Е.И., Лоханов Б.Н. К вопросу определения области применения бестранспортных схем на карьерах // Технология и механизация на открытых горных работах: Сб. ст. / ИГД СО АН СССР. - Новосибирск, 1971. - С. 43-46.
7. Калинин А.В., Проноза В.Г., Воронков В.Ф. Расчет коэффициента переэкскавации при бестранспортной разработке пологих пластов // Разработка угольных месторождений открытым способом: Межвуз. сб. научн. тр. / Кузбас. политехн. ин-т. – Кемерово, 1980. – Вып. 7. – С. 15-24.
8. The features of three- and four-tier internal dumps capacity calculation with the additional capacity preparation in the dump tiers / T. Gvozdkova, E. Kuznetsov, A. Rudakova, S. Markov // E3S Web of Conferences. – 2017. – Vol. 15. – Article 01008. – DOI 10.1051/e3sconf/20171501008. – EDN YMYQKD.
9. Исследование структур схем экскавации при отсыпке внутренних многоярусных бестранспортных отвалов / М.А. Тюленев, С.О. Марков, Н.С. Сурадеев [и др.] // Техника и технология горного дела. – 2022. – № 4(19). – С. 4-34. – DOI 10.26730/2618-7434-2022-4-4-34. – EDN XFQSQJ.