

УДК 622.271.3

**О НЕОБХОДИМОСТИ КОРРЕКТИРОВКИ МЕТОДИКИ РАСЧЕТА
ПАРАМЕТРОВ БЕСТРАНСПОРТНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СХЕМ**

Яковлев А.С., студент гр. ГОс-201, VI 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

Современная горнодобывающая промышленность России сталкивается с необходимостью повышения эффективности открытой разработки угольных месторождений в условиях возрастающих экологических требований [1] и экономических вызовов. Особую значимость эта проблема приобретает для Кузбасса – крупнейшего угольного региона страны, где около 20% месторождений характеризуется пологим залеганием пластов, создающим предпосылки для применения бестранспортной технологии, основанной на непосредственном перемещении вскрышных пород в выработанное пространство карьера с помощью драглайнов. Это позволяет существенно снизить себестоимость вскрышных работ за счет исключения дорогостоящего транспортного оборудования. Однако эффективность данной технологии в значительной степени зависит от точности определения параметров внутренних отвалов, в первую очередь их предельной вместимости, что обуславливает необходимость совершенствования методов расчета и проектирования.

Особую сложность представляет учет влияния угла падения пласта на емкость отвала, поскольку даже незначительные изменения геометрии залегания пластов могут существенно повлиять на объемы складирования породы.

Теоретические основы бестранспортной технологии были заложены в работах выдающихся отечественных ученых-горняков Н.В. Мельникова, М.Г. Новожилова, В.В. Ржевского, В.Г. Пронозы [2-5] и других известных деятелей горной науки [6-10]. Однако современные условия ведения горных работ, характеризующиеся, с одной стороны, применением нового оборудования и ростом вычислительных мощностей – с другой, требуют корректировки существующих методик расчета.

В связи с вышеизложенным нами сформулированы первоочередные задачи исследования:

1. Провести анализ существующих методов расчета емкости отвалов (аналитического и графического) и оценить их применимость для условий пологого залегания пластов.

2. Исследовать влияние угла падения пласта (в диапазоне $3-11^\circ$) и результирующего угла откоса отвала ($27-31^\circ$) на предельную вместимость отвала.
3. Выполнить сравнительный анализ точности аналитического и графического методов расчета при различных горно-геологических условиях.

Объектом исследования является технология отсыпки внутренних отвалов при бестранспортной технологии горных работ на разрезах с пологим залеганием пластов.

Предмет исследования – предельная вместимость внутренних отвалов в зависимости от угла падения пласта и результирующего угла откоса.

Методы исследования: В работе предполагается применить методы математического моделирования, графоаналитические построения, сравнительный анализ, статистическую обработку данных. Расчеты выполняются с использованием современных программных комплексов (AutoCAD) и традиционных аналитических методов.

Научная новизна работы и дальнейших исследований в данном направлении заключается:

- В установлении количественных зависимостей между углом падения пласта и предельной вместимостью отвала для условий Кузбасса;
- В сравнительной оценке точности аналитического и графического методов расчета при различных горно-геологических условиях.

Согласно классификации профессора кафедры ОГР В.Ф. Колесникова [11], разработанной для условий пластового залегания угля и применительно к Кузнецкому угольному бассейну, горизонтальными считаются пласты, имеющие угол падения $0-5^\circ$, а пологими – $6-14^\circ$. В нашей дальнейшей работе предполагается руководствоваться этими значениями как диапазоном, соответствующим области применения бестранспортной технологии.

Для условий Кузбасса выполнен ряд научных работ, направленных в первую очередь на установление рациональных параметров бестранспортной технологии открытой разработки для повышения эффективности работы горных предприятий в конкретных условиях [12-16]. В частности, исследования [12] позволили установить рациональную структуру схемы экскавации для применения на разрезе «Сибиргинский» в случае проектирования отработки породного уступа выше пл. III; также в данной работе рассмотрены возможные варианты формирования структуры бестранспортных схем экскавации, приведены математические модели вместимости многоярусного внутреннего отвала, рассчитаны показатели бестранспортной разработки заходки по породной толще с учетом организации технологических процессов; в [15] описаны перспективы применения бестранспортной технологии на месторождениях Сибири и дальнего Востока, однако публикации, посвященные модернизации и уточнению существующих методик расчета, практически отсутствуют.

Графический метод определения емкости отвала

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 в советской горной школе благодаря своей наглядности и достаточно высокой точности.

Методологическая основа графического метода базируется на принципах начертательной геометрии. Его суть 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.

Практическая реализация метода в САД-системах начинается с выбора масштаба построений. Для большинства промышленных объектов оптимальным считается масштаб 1:500 или 1:1000.

На подготовительном этапе выполняется построение топографической основы с нанесением горизонталей и высотных отметок; например, особое внимание уделяется точности отображения существующего рельефа, поскольку это непосредственно влияет на достоверность результатов. 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 AutoCAD позволяет избежать субъективных ошибок, присущих ручным измерениям. Рассмотрим это на примере технологической схемы отсыпки двухъярусного внутреннего отвала (рис. 1). Поэтапный разбор построения показан в табл. 1.

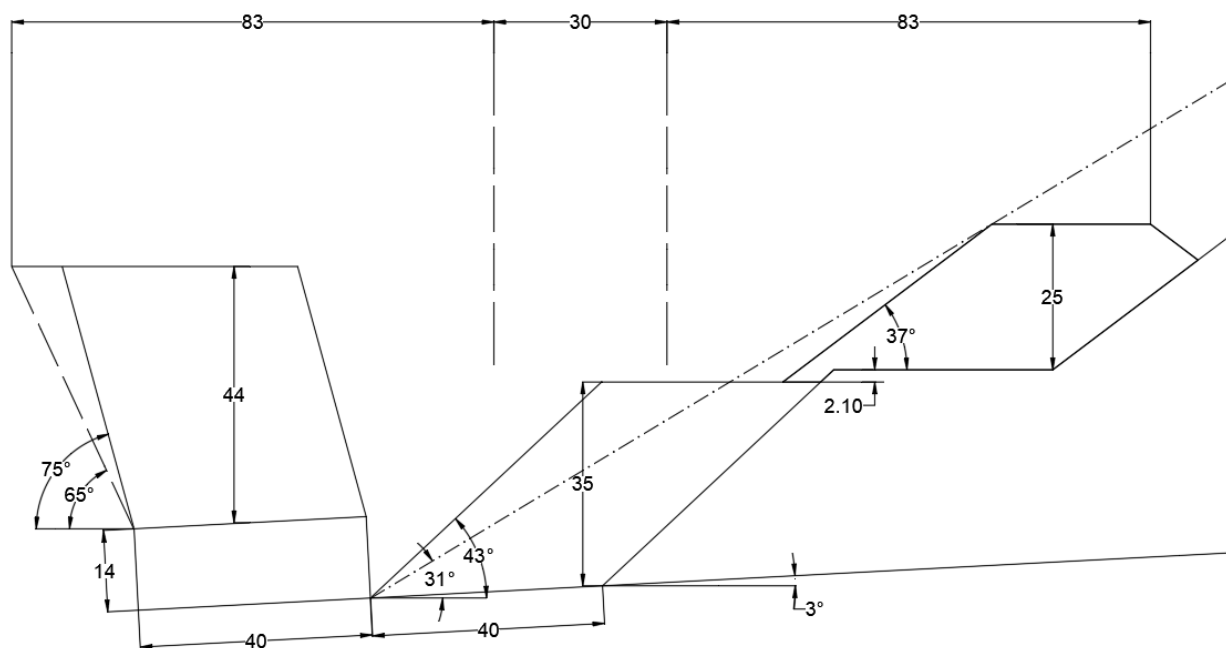
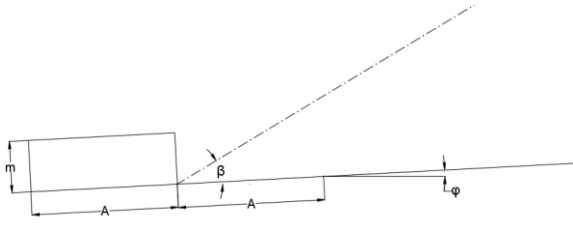
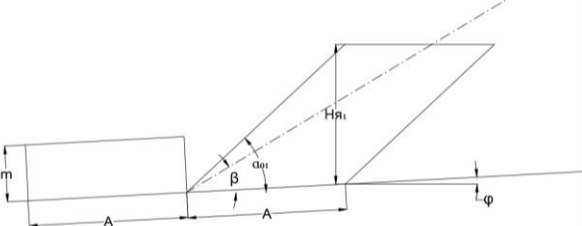
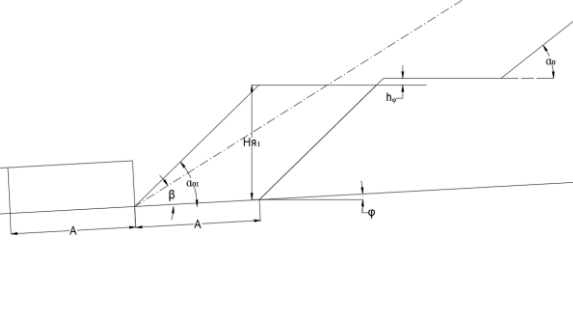
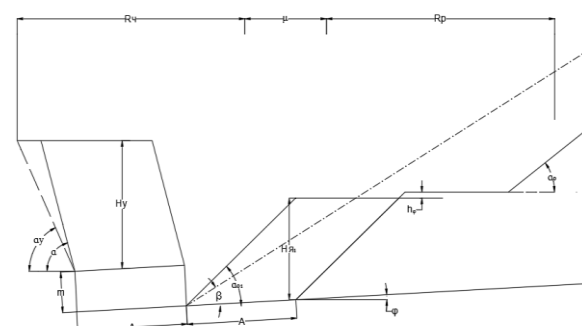
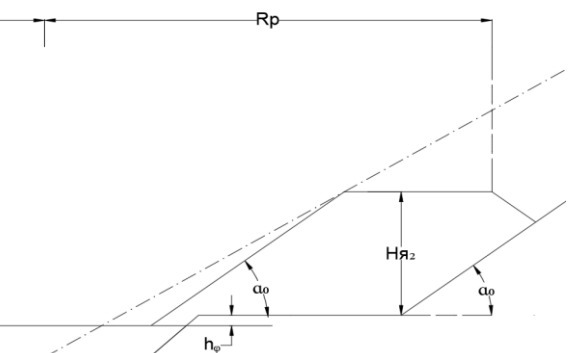
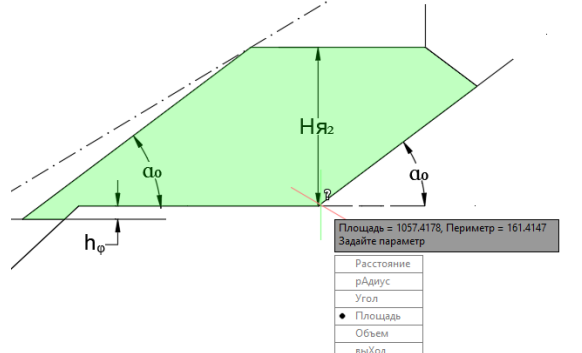


Рис. 1. Конечный этап при построении профиля бестранспортной схемы экскавации.

Таблица 1 – Этапы построения технологической схемы

	
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 заходки). После этого наносим второй отрезок равный A и проводим линию под углом β (генеральный угол откоса отвала).	Построение первого яруса: после нанесения второго отрезка равного A проводится линия под углом β (генеральный угол откоса отвала). Для первого яруса отвала высотой $Ня_1$ и углом откоса α_{01} важно точно выдержать проектные параметры, поскольку они определяют устойчивость всего отвального массива.
	
Контур предыдущей заходки: при построении контура предыдущей отвальной заходки необходимо учитывать h_φ – величину понижения отвального слоя между двумя смежными отвальными заходками.	Так как для построения второго яруса отвала требуется знать расстояние, на которое технически возможно переместить вскрышу, строим вскрышной уступ с высотой $Н_y$, которая выбирается ориентировочно (для экскаватора ЭШ 20.90 – 30-40 метров) и углами α и α_y (рабочий и устойчивый угол соответственно). Наносим радиус черпания $R_ч$, радиус разгрузки R_p и μ – величину смещения оси хода, которая позволяет увеличить разгрузочную возможность экскаватора ($\mu \leq 0,4 \cdot R_p$).
	
Формирование второго яруса: строим второй ярус отвала с высотой $Ня_2$ и углом откоса α_0.	С помощью инструментов программного обеспечения AutoCAD определяем площадь поперечного сечения отвала.

Завершающим этапом является проверка соответствия объёмов по формуле:

$$H_y \cdot A \cdot K_p = S_o,$$

где K_p – коэффициент разрыхления породы (в данном расчете принимался равным 1,35); S_o – площадь сечения отвала (измеряется графоаналитическим методом как сумма площади первого и второго яруса отвала). В том случае, если равенство не выполняется – производится корректировка H_y и повторение этапов построения.

В качестве вывода можно отметить, что основное преимущество графоаналитического метода заключается в возможности его использования в реальных условиях, когда, например, данные маркшейдерской съемки позволяют создать облако точек, соответствующих пространственному положению внутреннего отвала, что обеспечивает высокую точность определения параметров бестранспортной технологии в части расчета вместимости ярусов отвала, их числа и т.д. Это доказывает применимость данного метода и в современных условиях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Экологические проблемы добычи угля открытым способом / А. С. Доровских, В. Д. Куксенко, М. С. Мальцев [и др.] // Природные и интеллектуальные ресурсы Сибири. СИБРЕСУРС 2024 : Сборник материалов XX Международной научно-практической конференции, Кемерово, 19–21 ноября 2024 года. – Кемерово: Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, 2025. – С. 102.1-102.5. – EDN VAMOWA.
2. Теория и практика открытых разработок / Н. В. Мельников, А. И. Арсентьев, М. С. Газизов [и др.]. – Москва : Издательство «Недра», 1973. – 636 с. – EDN TVOOYN.
3. Новожилов М.Г. Теория и практика бестранспортной системы открытой разработки месторождений / М. Г. Новожилов, В. С. Эскин, Г. Я. Корсунский // Киев, 1973. – 206 с.
4. Ржевский, В. В. Открытые горные работы. Ч. I. Производственные процессы: учеб. для вузов. -М.: Недра, 1985. – 509 с.
5. Проноза, В.Г. Обоснование структуры эффективных технологических комплексов перевалки вскрышных пород : специальность 05.15.03 : автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук / Проноза Владимир Григорьевич. – Кемерово, 1992. – 41 с. – EDN ZJNIV.
6. 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.
7. Кузьменко А.Х. Исследование производительности драглайнов в основных технологических схемах на открытых горных разработках // Автореф. дис.. канд. техн. наук. – М., 1979. – 21 с.

8. Гвоздкова, Т.Н. Обоснование структуры бестранспортных схем разработки свит из трех пологих угольных пластов : специальность 25.00.22 «Геотехнология (подземная, открытая и строительная)» : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Кемерово, 2006. – 192 с. – EDN NNWSJT.
9. Лоханов, Б.Н. Исследование параметров бестранспортной системы разработки свиты пологих пластов // Автореф. дис. ... канд. техн. наук. – М.: МГИ, 1969. – 23 с.
10. Вагоровский В.С. Исследование рациональных параметров бестранспортных систем разработки пологих угольных пластов // Автореф. дис. ... канд. техн. наук. – М., 1975. – 23 с.
11. Колесников, В.Ф. Развитие и обоснование способов и схем вскрытия рабочих горизонтов угольных карьеров : специальность 05.15.03 : диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / Кемерово, 1999. – 325 с. – EDN QCZUER.
12. 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.
13. Кузнецов, В.И. Развитие и совершенствование бестранспортных схем экскавации в Кузбассе // Уголь. – 1990. – №5. – С. 27-28.
14. The features of three- and four-tier internal dumps capacity calculation with the additional capacity preparation in the dump tiers / Т. Gvozdkova, Е. Kuznetsov, А. Rudakova, S. Markov // E3s web of conferences, Kemerovo, Russian Federation, 24–26 апреля 2017 года. Vol. 15. – Kemerovo, Russian Federation: EDP Sciences, 2017. – P. 01008. – DOI 10.1051/e3sconf/20171501008. – EDN YMYQKD.
15. Perspectives for the Transportless Mining Technology in Siberia and Far East Coal Deposits / S. Markov, Ju. Janočko, M. Tyulenev, Ya. O. Litvin // E3S Web of Conferences : IVth International Innovative Mining Symposium, Kemerovo, 14-16 октября 2019 года. Vol. 105. – EDP Sciences: EDP Sciences, 2019. – P. 01021. – DOI 10.1051/e3sconf/201910501021. – EDN UARMUK.
16. Проноза, В.Г. К вопросу полного использования параметров внутренних отвалов на разрезах южного Кузбасса / В.Г. Проноза, В.Ф. Воронков, В.С. Вагоровский // Перспективы развития открытой разработки угольных месторождений: Сб. научн. тр. / Кузбас. политехн. ин-т. – Кемерово, 1985. – С. 73-79.