

УДК 622.271.45

М.Л. Медведев, А.Е. Зуев

АНАЛИЗ И ОЦЕНКА СПОСОБОВ РАЗМЕЩЕНИЯ ПОРОДЫ ВО ВНЕШНИХ ОТВАЛАХ ПРИ ОТКРЫТОЙ РАЗРАБОТКЕ РУДНЫХ КРУТОПАДАЮЩИХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Представлены анализ и результаты исследований способов размещения породы во внешних отвалах на основе энергетического подхода. Инструмент исследования – моделирование. Охвачены основные формы отвалов и способы отвалообразования, предложены новые способы, по которым энергетические характеристики лучшие в рассмотренном многообразии.

Ключевые слова: внешний отвал, форма, способ, автомобильный транспорт, размещение породы, моделирование, энергетическая характеристика, динамика.

Размещение породы в отвале является завершающим процессом подготовки к извлечению открытым способом твердого полезного ископаемого из недр. На крутопадающих месторождениях процесс сопровождается значительными издержками, по разным источникам до 15 % затрат на подготовительные работы.

В проектной и производственной практике процесс отвалообразования представляется относительно не сложным и мало проблемным. В связи с этим, по-видимому, ему уделяется меньше внимания со стороны научной сферы. При этом в общем объеме исследований, посвященных совершенствованию процесса внешнего отвалообразования, его основная часть представлена работами, направленными на решение вопросов повышения устойчивости откосов и увеличения высоты яруса отвала. Параметры находятся в определенной взаимозависимости, и в значительной мере предопределяют безопасность и эффективность процесса.

Касательно высоты яруса имеется две принципиальные позиции:

– оптимальной является высота, установленная по физико-механическим свойствам пород из условия достаточной устойчивости откоса, то есть соответствует максимально допустимому значению (до 100–150 м);

– оптимальному значению соответствует минимум издержек на размещение породы в отвале.

В первом случае более высокая экономичность процесса [1–3] зиждется на условии того, что с увеличением высоты яруса уменьшаются площадь нарушаемых земель, расстояние перемещения породы по отвалу, сокращаются затраты на строительство и содержание дорог. Однако как отмечается в [4] увеличение высоты яруса до 60–80 м обуславливает увеличение ширины бермы безопасности до 6–8 м, что без дополнительных технических средств, например, предложенных в [5], практически исключается возможность безопасной разгрузки автосамосвалов под откос, существенно усложняет технологию отвалообразования. Что касается утверждения сокращения расстояния транспортирования породы по отвалу, то оно противоречиво. Его горизонталь-

ная составляющая уменьшится на величину, равную разности заложения откоса яруса, ширины бермы безопасности и проекции съезда высокого и менее высокого яруса. Но увеличиваются наклонная и вертикальная составляющие транспортирования, больше переподем породы. Имеются исследования [6, 7], представляющие иную зависимость между эффективностью отвалообразования и высотой яруса, обнаруживающие по суммарным затратам на процесс и приведенному грузообороту оптимальное значение параметра в пределах 15 — 20 м.

В практике применяют размещение породы в отвале ярусами высотой от 5 до 150 м. В этом разнообразии высот наблюдается три стадии формирования отвала. Изначально — ярусами высотой 10 — 20 м., затем, из-за плохой управляемости процесса, локально переходят на отсыпку ярусами различной высоты, и в завершающей стадии — ярусом высотой, равной высоте отвала. Отмеченная стадийность предопределяется естественной и горнотехнической динамикой горных работ в карьере и на отвале, не способствует достижению их стабильности и эффективности, обоснованных проектом.

Целью настоящей работы являлось изучение динамики горных работ на отвале при открытой разработке рудного крутопадающего месторождения на основе автомобильного транспорта и обоснование технологических решений по повышению их стабильности и эффективности.

Постановка задачи.

По характеру процесса технологическая система размещения породы в отвале весьма динамична, по конструктивному признаку — инерционна. Внесение в неё радикальных изменений затруднительно, чревато привнесением в организацию и технологию

процесса факторов нестабильности, существенным удорожанием работ. Поэтому система заполнения отвальной ёмкости должна быть построена с учетом возможности обеспечения стабильности процесса и его минимальной энергоёмкости. Минимуму энергоёмкости соответствует минимум затрат на размещение породы в отвале.

Объект и предмет исследования.

Оптимальность параметров размещения породы в отвале определяется его формой и способом формирования, соответствует минимуму потребляемых ресурсов, интегрированных в минимум энергетического показателя процесса.

Отвалы по форме неправильной усеченной пирамиды, неправильного усечённого конуса с основанием неправильных многоугольников, эллипса или круга получили наибольшее распространение в практике разработки рудных месторождений открытым способом. Являются характерными для рудников компании «АЛРОСА». Выбор их в качестве объектов исследования представляется естественным.

Ярусность, конструкция и направление перемещения фронта работ — основополагающие признаки способа размещения породы в отвале. Их влияние на эффективность процесса отвалообразования изучено недостаточно и потому является предметом исследования в настоящей работе.

Методическая и информационная основа.

В качестве инструмента изучения динамики и эффективности процесса применялось моделирование размещения породы. Предварительно были разработаны блочные модели отвалов с основанием неправильных многоугольников и круга, которые несли в себе информацию как в целом по отвалу, так и по каждому отдельному

блоку. Это, прежде всего, координаты яруса, его части и блока, а также вместимость блока, расстояние перемещения породы по отвалу, высота подъёма и энергетический показатель доставки породы в блок.

В моделируемом процессе технический комплекс был представлен автосамосвалами БелАЗ – 7512 и бульдозерами ДЗ – 118. Качество дорог выражено основным удельным сопротивлением движению автосамосвала в диапазоне 30–70 Н/кН. Условие сопоставимости результатов обеспечивалось равенством объёмов породы в отвале и одинаковым числом ярусов, которое варьировалось от 1 до 3, при высоте отвала 60 м.

Моделирование выполнено с учетом широкого спектра конструктивно-технологических особенностей, которые отражены в следующих способах формирования отвалов:

1. Способ «Отвал-ярус, фронт отвалообразования выпуклый, перемещение фронта от ближней периферии к противоположной». Перемещение породы по отвалу — по прямой линии. Моделирование выполнено на моделях отвалов с круглым основанием, основанием близким к вытянутому прямоугольнику и трапециевидному.

2. Способ «Отвал многоярусный, поярусное заполнение отвала, фронт отвалообразования выпуклый, перемещение фронта — от ближней периферии к дальней». Перемещение породы по отвалу — по прямой линии. Моделирование выполнено на моделях отвалов с круглым основанием, основанием близким к вытянутому прямоугольнику и трапециевидному.

3. Способ «Отвал многоярусный, совмещенная отсыпка ярусов, фронт отвалообразования круглый, перемещение фронта — радиальное к центру и к периферии» [7], перемещение породы по отвалу по прямой и полу-

круглой линии. Моделирование выполнено на модели отвала с круглым основанием.

4. Способ «Отвал многоярусный, совмещенная отсыпка ярусов, фронт отвалообразования вогнуто-выпуклый с разрывом в центре вогнутой части, вогнутая часть перемещается в направлении продольной оси отвала, выпуклая к его периферии». Перемещение породы по отвалу по прямой линии [8, 9]. Моделирование произведено на моделях отвалов с трапециевидным основанием и основанием близким к вытянутому прямоугольнику.

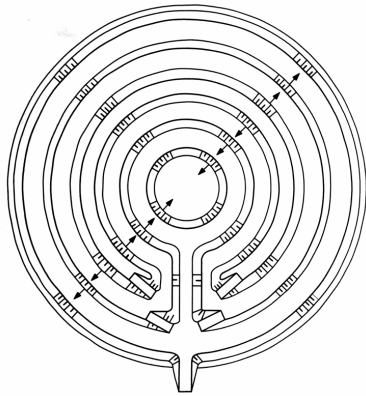
5. Способ «Отвал многоярусный, совмещенная отсыпка ярусов, фронт отвалообразования выпуклый, в двух секторах, перемещение фронта от ближней периферии к противоположной». Перемещение породы по отвалу по прямой и выпуклой линии. Моделирование осуществлено на модели отвала с трапециевидным основанием и основанием близким к вытянутому прямоугольнику.

Результаты моделирования

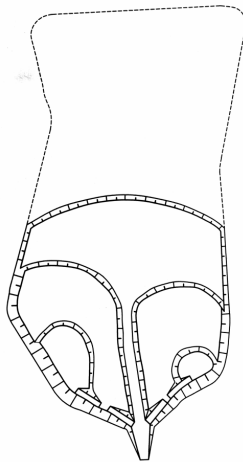
По охарактеризованным способам, для заданного потока породы из карьера, получены массивы данных по высоте подъёма и расстоянию перемещения породы в пределах отвала. На их основе получены массивы данных по энергетическому параметру, позволившие установить (рис. 1) динамику параметра в зависимости от формы отвала и способа размещения в нем породы. Характерной особенностью по всем геометрическим формам отвалов явилось следующее:

1. Самое высокое положение энергетической характеристики обнаруживает способ «ярус-отвал», т. е. когда отвал отсыпается одним высоким ярусом энергоёмкость отвалообразования наибольшая.

а



б



в

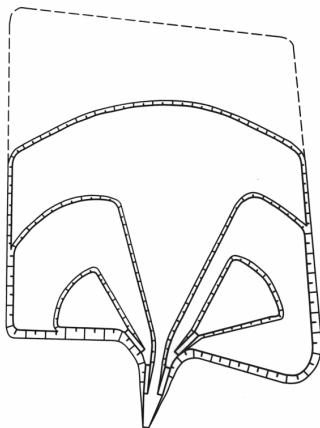


Рис. 1. Динамика энергетического параметра размещения породы в отвале с основанием круглой (а), вытянутой (б) и трапециевидной (в) формы по способу:
1 – отвал-ярус, 2 – отвал многоярусный, совмещенная отсыпка ярусов; 3 – отвал многоярусный, поярусная отсыпка

Средние значения энергетического параметра размещения породы по отвалам и способам отвалообразования

Геометрическая форма основания отвала	Способ размещения породы в отвале		
	Отвал-ярус	Отвал многоярусный, поярусная отсыпка	Отвал многоярусный, совмещенная отсыпка
Круглое	6,93251	5,091817	6,514644
Близкое к вытянутому прямоугольнику	6,411775	5,001769	6,212766
Трапециевидное	7,501255	5,604985	6,962029

2. Наиболее экономичным, по энергетической характеристике процесса, является способ «отвал многоярусный, поярусное заполнение отвала...».

Отмеченные особенности подтверждают средние значения энергетического параметра (таблица). Промежуточное положение занимает способ «отвал многоярусный, совмещенная отсыпка...». Полученные результаты вытекают из физической сущности процесса. По способу «ярус-отвал» вся порода поднимается на максимальную высоту. В то время как поярусное заполнение отвала и совмещенная отсыпка ярусов позволяют свести объём породы, поднимаемый на такую же высоту, до приемлемого минимума.

По энергетической характеристике способ «многоярусный отвал, совмещенная отсыпка...» значительно уступает способу «отвал многоярусный, поярусное заполнение отвала...». Различие объясняется неодинаковым расстоянием перемещения породы по отвалу. Поярусное заполнение отвала позволяет осуществлять перемещение породы по прямой линии — наименьшему расстоянию до места разгрузки. Аналог такую возможность исключает. Однако для поярусного заполнения отвала свойственны резкие перепады в энергетической характеристике, которые ведут к таким же перепадам в потребности интегральной мощности технических средств, задействованных в процессе, что неприемлемо.

Рассмотренные геометрические формы отвалов и способы их формирования, за исключением *способа 3*, наиболее часто встречаются в практике добычи полезных ископаемых открытым способом на рудных месторождениях и несут в себе проговоренные недостатки. Помимо сказанного отмеченные способы характеризуются слабыми стабилизирующими качествами. В связи с этим предложены новые способы размещения породы в отвале [8, 9], по которым первый ярус отсыпают сплошным выпуклым фронтом со стороны заезда на отвал в направлении противоположного фланга. Второй и последующие ярусы — выпуклым и вогнутым фронтом с разрывом в центре вогнутой части, выполненным для размещения заездов на нижележащие смежные ярусы. Съезды и площадки примыкания второго и последующего ярусов перемещают относительно точки заезда на отвал радиально от флангов к центру. Конструктивные особенности фронта отвалообразования, его ориентация в пространстве, а также перемещение съездов и площадок примыкания позволяют осуществлять транспортирование породы по отвалу до места разгрузки по кратчайшему пути и иметь энергетическую характеристику, близкую к характеристике по способу «Отвал многоярусный, поярусная отсыпка...». Но с более высокой степенью

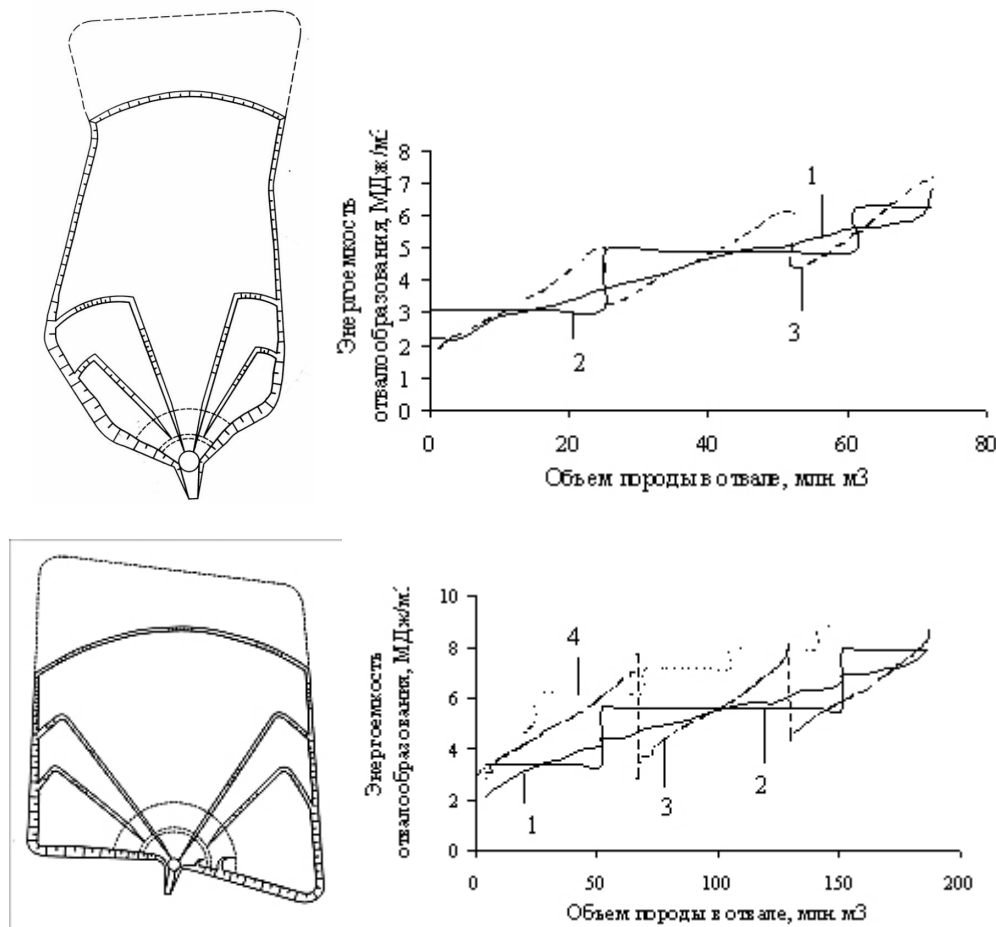


Рис. 2. Динамика энергетического параметра размещения породы в отвале вытянутой (а) и трапециевидной (б) формы по способу: 1 — «совмещенная отсыпка ярусов, фронт отвалообразования вогнуто-выпуклый ...»; 2 — то же, энергетическая характеристика стабилизирована по интервалам; 3 — «поярусная отсыпка»; 4 — «совмещенная отсыпка ярусов, фронт отвалообразования выпуклый, перемещение — от ближней периферии к противоположной»

стабильности. Отмеченные качества способов полностью подтверждаются при моделировании размещения породы в отвалах (рис. 2). Энергетические характеристики (рис. 2, п. 1), полученные на двух моделях отвалов по предложенным способам, в рассмотренных случаях отвалообразования являются лучшими как по значению, так и по положению в сравнении с остальными: по модели «а» среднее значение энергетического параметра со-

ставило $4,5709 \text{ МДж/м}^3$, по модели «б» — $5,299729 \text{ МДж/м}^3$. Их монотонное изменение в части приращеня энергоемкости отвалообразования является важным условием для стабилизации энергетического параметра процесса и мощности привлекаемых технических средств. Обусловлено конструктивными особенностями фронта отвалообразования, обеспечивающего доступ размещения породы к блокам с широким диапазо-

ном значений энергетического показателя, и соответствующим его перемещением на смежных ярусах. Рациональное опережение фронта отвалообразования нижележащего яруса относительно смежного вышележащего зависит в основном от высоты яруса и качества дорог на отвале, определяемого в основном сопротивлением движению автосамосвала. В аналитических расчетах может быть определено по следующему выражению:

$$L_0 = (\eta + k_t) * \frac{(L_n * w_0 + 1000g * h)}{(\eta + 2k_t) * w_0},$$


где L_0 – опережение фронта отвалообразования нижележащего яруса относительно смежного вышележащего, м; η , k – коэффициент использования

грузоподъемности автосамосвала и коэффициент тары; L_n – длина съезда, м; w_0 – основное удельное сопротивление движению автосамосвала, Н/т; g – ускорение свободного падения, м/с²; h – высота подъема породы на отвал, м.

Заключение

Для применяемых в практике способов на основе автомобильного транспорта характерна слабая управляемость процесса, большая величина и высокая динамика энергетического параметра. Предложенные способы позволяют снизить энергоемкость отвалообразования на 20–25 %, существенно улучшить управляемость и повысить стабильность его параметров.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Крячко О.Ю.* Управление отвалами открытых горных работ. – М: Недра, 1980. – 255 с.
2. *Отсыпка* высокого отвала на Сибайском карьере / А.М. Демин, В.Н. Евсеев, А.И. Селиверстов, Н.Е. Царьков // Горный журнал, 1989. — № 5. — С. 22 — 23.
3. *Галустьян Э.Л., Козлов Ю.С.* Предельная высота отвала и ширина бермы безопасности // Горный журнал, 1985. — № 8. – С.34—36.
4. *Горбунов В.Г.* Бульдозерное отвалообразование при автотранспорте большой грузоподъемности // Перспективы развития открытого способа добычи угля в восточных районах страны: Межвуз. сб. науч. тр. – Кемерово, КузГПИ. – 1984. — С 60 – 66.
5. *Интенсификация* процесса укладки вскрышных пород в отвал на карьерах / С. Г. Молотилов, О.Б. Кортелев, В.К. Норри, А.Н. Александров // ГИАБ, 2006. — № . – С 206 – 210.
6. *Плотников Н.А., Минькин В.А.* Обоснование оптимальной высоты яруса отвала // Горный журнал, 1989. — № 5. — С. 23 — 25.
7. *Галкин В.А.* Графо-аналитический метод определения рациональной конфигурации автомобильного отвала // Известия вузов. Горный журнал, 1983. — № 11. — С.15 — 19.
8. *Патент*. 2059074 РФ, МКИ⁶ Е 21 С 41/26. Способ формирования бульдозерного отвала / Медведев М. Л., Тетерин А. Ф. — № 9304320; Заявлено 31.08.93; Оpubл. 19.02.96, Б. И. № 4.
9. *Патент* № 2122117, МПК⁶ Е 21С 41/26. Способ формирования отвала. Медведев М.Л. Заявка № 97104564/03. Заявлено 25.03.97 г. Опубликовано 20.11.98 г., БИ № 32.
10. *Патент* № 2196230, МПК⁶ Е 21С 41/26. Способ формирования отвала. Медведев М.Л., Килижекова Т.Е., Авдеев А.М., Косолапов А.И. Заявка № 20007747/03. Заявлено 22.03.2001 г. Опубликовано 10.01.2003 г., БИ № 1. 

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Медведев М.Л. – ведущий научный сотрудник, доцент, кандидат технических наук, mlmedv@mail.ru,

Зув А.Е. – инженер, alex_corp85@mail.ru,

Институт химии и химической технологии Сибирского отделения Российской академии наук.