

Азаренко А.А., М.А. Константинов, И.Ю. Боос
Сибирский Федеральный университета.
Институт горного дела геологии и геотехнологий
660025, г. Красноярск, пр. Вузовский, 3, ауд. 415 у.к.
e-mail: JJunakov@sfu-kras.ru

Методика выбора оптимальных параметров скальных отвалов

Отвалообразование, как одно из важных звеньев технологического процесса открытого способа добычи полезных ископаемых, характеризуется значительной трудоемкостью и относительно высокой стоимостью работ. В настоящее время изучению вопросов технологии отвалообразования и ее влияние на технико-экономические показатели работы горнодобывающего предприятия уделяется все большее внимание. Однако, проводимые исследования в известной мере страдают односторонностью. В большинстве случаев основное внимание уделяется анализу чисто технологических процессов без оценки устойчивости откосов отвалов, оказывающей нередко решающее влияние на выбор горнотранспортного оборудования, технологических схем отвалообразования, организации работ и охраны труда при отсыпке отвалов. При этом зачастую параметры отвалообразования принимаются без достаточного обоснования по аналогии с разрабатываемыми карьерами и отвалами. В других случаях основное внимание уделяется установлению параметров предельных устойчивых откосов без их увязки с технологией отвалообразования; при этом нередко из поля зрения исключается экономическая сторона вопроса, в связи с чем получение оптимального решения для окончательного выбора схем отвалообразования становится весьма затруднительным.

Очевидно, что правильное решение данного вопроса возможно лишь на основе комплексного подхода, базирующегося на технико - экономическом обосновании схемы и способа отвалообразования, обеспечивающих устойчивость отвалов в конкретных горно-геологических условиях и способствующих повышению безопасности работ. Как показал проведенный нами анализ работы (более 45 отвалов), на практике вопросам отвалообразования до сих пор уделяется явно недостаточное внимание. На рассмотренных карьерах наибольшее распространение получило бульдозерное отвалообразование совместно с автомобильным транспортом. Отсыпаемые отвалы слагаются в основном скальными и полускальными породами, отличающимися весьма высокими прочностными характеристиками в массиве. Для складирования вскрышных пород применяется преимущественно периферийное отвалообразование, при котором автосамосвалы разгружаются по периферии отвального фронта в непосредственной близости от верхней бровки отвального откоса или под откос. В этом случае вся порода или ее часть перемещается под откос бульдозером.

Как показали исследования, для большинства рассматриваемых карьеров присущ целый ряд недостатков в организации процесса отвалообразования, к основным из которых могут быть отнесены следующие.

На многих предприятиях параметры отвалов (ярусов) не рассчитываются, а принимаются по аналогии с действующими карьерами или на основании опыта. В особой степени это характерно для случаев отсыпки отвалов на наклонное основание в условиях гористой и резко переменной местности. Для одних и тех же горно-геологических условий высоты отвалов различаются в два и более раза. Это объясняется тем, что вопросам определения физико-механических характеристик пород отвалов и их оснований, являющихся исходными данными для расчета параметров предельных устойчивых отвалов, уделяется мало внимания. В большинстве случаев отсыпаемые породы характеризуются данными об их крепости в массиве по шкале М.М. Протоdjяконова. При этом в расчетах тело отвала по всей высоте рассматривается как однородная среда, характеризующееся некоторыми усредненными показателями сопротивляемости пород сдвигу. Как следствие, получаемая в результате расчетов предельная высота отвалов скальных и полускальных пород оказывается явно заниженной, что влечет за собой снижение экономических показателей отвалообразования, связанных с увеличением путей транспортирования пород и задалживанием излишних площадей земельного отвода.

При назначении параметров устойчивых отвалов первостепенное значение имеет знание показателей прочностных свойств пород тела отвала. Прочностные характеристики отвалов скальных и полускальных пород во многом определяются закономерностями распределения гранулометрического состава пород в теле отвала; от характера этого распределения зависит и плотность пород отвала, и угол внутреннего трения.

Угол наклона откоса отвала, который при существующих способах отвалообразования является в большинстве случаев углом естественного откоса отсыпаемых пород. По данным многочисленных замеров [1,2] угол естественного откоса пород скальных отвалов колеблется незначительно 34° - 37° .

Изменение гранулометрического состава пород по высоте отвала оказывает существенное влияние на величины основных прочностных характеристик (сцепление, угол внутреннего трения), а также плотность пород, слагающих тело отвала.

Отвал состоит из породных кусков различных размеров. Образование больших блоков обусловлено в основном естественной трещиноватостью пород в массиве; средние и мелкие куски возникают в процессе измельчения породы в карьере при производстве буровзрывных работ, часть мелкой фракции образуется в результате физического и химического выветривания пород непосредственно в теле отвала. На всех карьерах по методике, изложенной в работе [1,2], было проведено исследование на основании которого делается заключение о том, что отвал скальных пород следует рассматривать как слоистую среду с неявно выраженными границами слоев, мощность которых зависит от среднего размера структурного блока и характера распределения гранулометрического состава пород, обусловленного гравитационной сортировкой сыпучего материала при формировании отвального массива. Нижний и средний слои отвала, сформированные преимущественно породами крупной фракции, обладает повышенной устойчивостью. Поэтому предельная высота устойчивого отвала определяется прочностными характеристиками верхнего мелкофракционного слоя, составляющего 0,3 - 0,4 высоты отвала.

Таким образом, зная прочностные характеристики верхнего слоя по схеме 5.2 [2] можно определить предельную высоту h верхнего слоя, затем перейти и к общей высоте отвала через формулу $H = h/0,35$.

При отсыпки скальных и полускальных пород на слабое основание большой мощности определение параметров предельного откоса по схеме 2.1, 2.2 [2] не всегда дает удовлетворительный результат, так как механизм деформирования таких откосов несколько иной. Под действием веса пород отвала несущая способность основания может оказаться исчерпанной, что влечет за собой деформацию пород в основании отвала; затем начинает деформироваться и проседать сам отвал. К этому времени уже сформирована общая поверхность скольжения с обязательным выпором у бровки основания. В предлагаемом численно-аналитическом способе расчета коэффициента запаса устойчивости отвала определяется как отношение удерживающих и сдвигающих сил с использованием принципа суперпозиций, согласно которому сдвигающие и удерживающие силы определяются суммированием соответственно сдвигающих и удерживающих сил от собственного веса призмы обрушения отвала и внешней нагрузки. Нами разработан соответствующий математический аппарат, алгоритм решения и программа реализована на ПЭВМ. Например, для одного из карьеров по данной методике был проведен расчет параметров скального отвала, расположенного на слабом основании при следующих исходных данных: тело отвала - $k = 0,0008$ МПа; $\rho = 32^{\circ}$; $\gamma = 2,2 \cdot 10^3$ кг/м³;

основание отвала - $k' = 0,0008$ МПа; $\rho' = 32^{\circ}$; $\gamma' = 2,2 \cdot 10^3$ кг/м³.

Анализ расчетов показал, что максимальная высота отвала может быть 35м. При высоте отвала 40м коэффициента запаса устойчивости отвала меньше единицы, а значит откос с основанием будет деформироваться. При двухъярусной отсыпке устойчивым может быть отвал с высотами 1-го и 2-го ярусов по 30м и площадкой безопасности между ними в 30м; в этом случае минимальный коэффициент запаса устойчивости равен 1,068, а при тех же параметрах для площадки безопасности между ними в 20м отвал будет уже неустойчив. При соотношении высот первого яруса 35м и второго яруса 20м и ширине площадки безопасности 20м отвал также устойчив, так как коэффициента запаса устойчивости равен 1,009.

Одним из наиболее распространенных способов ведения отвальных работ на карьерах является бульдозерное отвалообразование с транспортированием пород во внешние отвалы авто-

мобильным транспортом. Эффективность данного способа отвалообразования во многом зависит от правильного выбора параметров отвала, его формы и местонахождения.

При проектировании отвалообразования на карьерах стремятся использовать рельеф местности для создания отвалов большой емкости по возможности вблизи карьера с целью сокращения пути транспортирования пород. Выбор оптимальной формы и местонахождения отвала должен производиться на основе сравнения различных вариантов отвалообразования, число которых может достигать нескольких десятков. Практика горного дела показывает, что эта задача решается маркшейдерской службой предприятий без достаточно обоснованной увязки с устойчивостью откосов, параметрами отвалов, технологией и экономикой отвалообразования. Нами предлагается графоаналитический способ обоснования экономически выгодной формы отвала с учетом рельефа местности, формы отвала в плане и его высоты, которая не превышает предельную по состоянию устойчивости. Исходным материалом служит проект отработки месторождения, топогеодезическая основа района предполагаемого местонахождения отвалов, данные инженерно-геологических изысканий района отвалообразования, а также результаты исследований физико-механических свойств пород отвала и его основания.

Суть метода состоит в следующем:

1. На топографическом плане местности в районе предполагаемой отсыпки отвала наносятся контуры земельного отвода, зоны безопасных сдвижений горных пород от влияния подработки, забалансовых и некондиционных запасов, предусматриваемых в перспективе к отработке.

2. Производится аналитическое описание рельефа местности полиномом n -ой степени или вычисляется средняя отметка поверхности земли под отвалом.

3. Определяется предельная высота отвала по степени устойчивости отсыпаемых пород и грунтов основания и, исходя из проектного объема вскрыши, вычисляется площадь отвала, необходимая для его размещения.

4. Сообразуясь с условиями местности, отстраивается ряд различных по форме контуров, ограничивающих расчетную площадь отвала; графически определяется в условной системе координаты характерных точек каждого контура и производится аналитическое описание линий контуров с помощью полигонального полинома Чебышева.

5. Площадь отвала разбивается на элементарные участки и в зависимости от выбранной схемы отвалообразования рассчитывается объем каждой элементарной призмы, необходимое количество автомашин для ее отсыпки и длина транспортирования до центра каждого участка. Суммированием найденных величин по элементарным участкам находят значения показателей для всего отвала; из всех рассмотренных контуров выбирается оптимальная форма отвала, характеризующаяся минимальным значением общего пути транспортирования пород.

6. Производится расчет устойчивости борта карьера в зависимости от влияния отвала с целью оценки достаточности его удаления от борта карьера; определяется ширина призмы возможного обрушения на отвале от действия горнотранспортного оборудования.

Согласно вышеизложенной методике производится сравнение других вариантов отвалообразования, отличающихся местоположением отвала на местности и числом ярусов. В результате принимается окончательное решение об оптимальной форме и параметрах отвала, соответствующих минимальному среднему пути транспортирования пород. Предлагаемая методика доведена до машинного решения.

Литература

1. Попов И.И., Шпаков П.С., Поклад Г.Г. Устойчивость породных отвалов. Алма-Ата: Наука, 1987-224 с.
2. Попов В. Н., Шпаков П. С., Юнаков Ю. Л. Управление устойчивостью карьерных откосов: учеб. для вузов. – М. : Горная книга, 2008. – 683 с.