

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

### Управление состоянием устойчивости внутренних отвалов на примере Шубаркольского угольного разреза

К прогрессивным методам обработки угольных разрезов в настоящее время можно отнести технологию бестранспортной обработки вскрыши со складированием пород во внутренние отвалы. Внутреннее отвалообразование производится на почву отработанного угольного пласта (на слабое наклонное основание), что является неблагоприятным фактором, влияющим на устойчивость отвала.

Отличительными особенностями внутреннего отвала, формируемого по бестранспортной технологии, благоприятно влияющими на его геомеханическое состояние, являются: во-первых, отсутствие нагрузки на верхнюю бровку от действия горнотранспортного оборудования; во-вторых, достижение предельного состояния в отвале треугольной формы (бестранспортная вскрыша) происходит при большей высоте по сравнению с отвалом трапециевидной формы. Это связано с распределением удерживающих сил в отвале, что подтверждает геометрия призмы обрушения; в-третьих, сама технология отсыпки отвала бестранспортной вскрыши способствует обеспечению более устойчивого состояния отвала по сравнению с другими технологиями, так как при отсыпке отвала породы из ковша драглайна падают с большей высоты, чем из кузова самосвала, уплотняя при этом ядро отвала.

Анализ горнотехнических условий на Шубаркольском угольном разрезе показывает, что созданный экскаватором ЭШ-10/70 отвал бестранспортной вскрыши опирается в нижней части в откос угольного уступа. Это компенсирует влияние наклонного основания отвала, поэтому для заданных условий слабое наклонное основание можно не учитывать. Результаты расчетов, выполненных численно-аналитическим способом проф. П.С. Шпакова [1,2,3] с использованием программы [3] «Устойчивость карьерных откосов», показали, что без учета влияния слабого наклонного основания предельная высота конусообразного отвала для аргиллитов может достигать 28 м.

При отсутствии упора в основании отвала поверхность скольжения в нижней части проходит по ослабленному контакту. В связи с чем снижаются расчетные средневзвешенные характеристики прочности пород по поверхности скольжения. Расчеты показали, что высота конусообразного отвала в этом случае не должна быть больше 25 м.

При выемке угля из забоя, служащего упором для внутреннего отвала, откос отвала обрушается, образуя стенку циркообразной формы на участке незначительной ширины. При этом экскаватор с удлиненной стрелой (ЭКГ-4У, ЭКГ-5У), вынимая уголь, формирует за собой из вскрышных пород призму упора для отвала. Отвал бестранспортной вскрыши с измененной геометрией сам становится упорной призмой для надвигающегося внутреннего отвала в целом.

Учитывая изменяющиеся горно-геологические условия по глубине и площади разреза, построение рабочего борта внутреннего многоярусного отвала по стадиям его формирования должно производиться с учетом технологических соображений с последующей обязательной проверкой на устойчивость по графикам, полученным по программе SLABOSN проф. Шпакова П.С. и др. [2,3], по ряду разведочных линий исходя из высоты отвала и угла наклона слабого основания отвала.

Соблюдение вышеизложенной рекомендации позволяет управлять состоянием устойчивости формируемых внутренних отвалов. Такой же пример рассмотрен в работе [4,5].

Рассмотрим решение данной задачи на примере Шубаркольского угольного разреза.

Для анализа устойчивости внутренних отвалов, отсыпаемых на слабый контакт - почву отработанного угольного пласта с весьма низкими прочностными характеристиками, усовершенствованы два варианта расчетной схемы устойчивости откосов, расположенных на слабом основании малой мощности.

Суммарные сдвигающие и удерживающие силы, действующие на призму возможного обрушения, определены путем интегрирования соответствующих элементарных сил, действующих по поверхностям скольжения.

При интегрировании сдвигающих и удерживающих сил по потенциальной поверхности скольжения получены конечные решения, выраженные в элементарных функциях. Разработаны алгоритм и программное обеспечение для решения данных задач [1,2].

Расчеты устойчивости откосов внутреннего отвала Шубаркольского угольного разреза выполнены аналитическим способом для углов наклона основания отвала (слабого контакта) от  $0^\circ$  до  $12^\circ$ .

Результаты расчетов показали, что с уменьшением угла наклона основания отвала (слабого контакта) предельная высота устойчивого яруса внутреннего отвала увеличивается от 15,1 м при  $\alpha = 12^\circ$  до 17,3 м при  $\alpha = 0^\circ$  [1].

Исследованиями установлено, что высота устойчивого нижнего яруса отвала при углах наклона слабого обводненного основания до  $12^\circ$  может быть рекомендована равной 15 м. При формировании нижнего яруса из прочных пород надугольной толщи на сухом основании высота устойчивого яруса может достигать 20 м. Ярусы внутреннего отвала, расположенные выше и сложенные достаточно прочными породами, в основании которых будут находиться устоявшиеся породы нижнего яруса, могут иметь высоту до 20 м, устанавливаемую из технологических соображений. Высота яруса отвала глинистых пород не должна превышать 15 м.

Для различных прочностных характеристик пород внутреннего отвала выполнены расчеты аналитическим способом и определены зависимости предельной высоты нижнего яруса отвала от угла наклона слабого основания.

Полученные зависимости носят линейный характер. Уравнения связи имеют следующий вид [1]:

- при  $k = 0,035$  МПа,  $p = 26^\circ$ ,  $H_{\text{пред}} = 34,84 - 0,725 \cdot \alpha$ , м;
- при  $k = 0,024$  МПа,  $p = 20^\circ$ ,  $H_{\text{пред}} = 20,15 - 0,150 \cdot \alpha$ , м;
- при  $k = 0,020$  МПа,  $p = 17^\circ$ ,  $H_{\text{пред}} = 15,21 - 0,035 \cdot \alpha$ , м.

Выводы. На основании выполненных исследований усовершенствованы два варианта расчетной схемы устойчивости откосов, расположенных на слабом основании малой мощности. Расчет устойчивости карьерных откосов, выполнен численно-аналитическим и аналитическим способом и, позволили обосновать параметры устойчивого внутреннего отвала для горногеологических условий Шубаркольского угольного месторождения.

Заключение. Для обеспечения долговременной устойчивости откосов отдельных ярусов и внутреннего отвала в целом Шубаркольского разреза рекомендуется следующее:

1. Формирование нижних ярусов внутреннего отвала должно начинаться при угле наклона слабого основания (контакта) отвала менее  $12^\circ$  и осуществляться по возможности наиболее прочными вскрышными породами (аргиллитами, алевролитами, песчаниками) глубоких горизонтов разреза. При этом высота яруса отвала, отсыпаемого экскаватором ЭШ-10/70 по бестранспортной технологии, не должна превышать 25 м;

2. Высота нижнего яруса внутреннего отвала, формируемого автомобильным транспортом, при углах наклона слабого основания отвала от  $12^\circ$  до  $4^\circ$  должна приниматься равной 15 м, при меньших углах наклона основания отвала при складировании в нижний ярус наиболее прочных пород глубоких горизонтов разреза в условиях невлажного основания отвала высота яруса может быть увеличена до 20 м при необходимости;

3. Высота вышележащих ярусов внутреннего автомобильного отвала, основанием которых служат устоявшиеся породы нижних ярусов, высота устойчивого яруса должна приниматься с учетом технологических соображений равной 15-20 м. Высота ярусов отвала, сложенных глинистыми породами, не должна превышать 15 м;

4. Складирование в нижние ярусы глинистых пород верхних горизонтов (зоны выветривания), а также склонных к самовозгоранию углистых аргиллитов надугольной пачки с точки зрения устойчивости бортов карьера не целесообразно;

5. Служащего упором для внутреннего отвала, отсыпанного по бестранспортной технологии, вслед за добычными работами экскаватор с удлиненной стрелой (ЭКГ-4У, ЭКГ-5У) должен формировать за собой из вскрышных пород переэкскавации призму упора для отвала

бестранспортной вскрыши высотой не менее 1,5 высоты добычного уступа. Отвал бестранспортной вскрыши, с изменённой геометрией, сам становится упорной призмой для надвигающегося внутреннего отвала в целом.

6. Для обеспечения более полного рассеивания порового давления в основании отвально-го яруса ширину заходки следует принимать максимально возможной (до 50-70 м [1]), исходя из положения границ обнажения лежачего бока пласта и подвигания добычных работ.

7. При складировании в отвальные ярусы пород, обладающих резко различными характеристиками сопротивления сдвигу, не рекомендуется допускать отсыпку слабых глинистых пород слоями по поверхности откоса, создающими косослоистое строение отвала. Для повышения устойчивости отвальных ярусов следует стремиться к максимальному усреднению состава отсыпаемых пород вскрыши [1].

Представленные рекомендации, разработанные для Шубаркольского угольного разреза, могут быть использованы для проектирования параметров внутренних отвалов угольных разрезов с аналогичными горно-геологическими условиями разработки месторождений.

### Литература

1. Попов В. Н., Шпаков П. С., Юнаков Ю. Л. Управление устойчивостью карьерных откосов: учеб. для вузов. – М.: Горная книга, 2008. – 683 с.
2. Шпаков П.С., Юнаков Ю.Л., Шпакова М.В. Расчет устойчивости карьерных откосов по программе STABILITY ANALYSIS. Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2011. № 8. С. 56-63.
3. Программа для расчета устойчивости карьерных откосов "Stability analysis". программы, зарегистрированные в реестре программ для эвм российской федерации. ru обпбт № 4(75) 20.12.2010. Программы для ЭВМ. Рег. номер 2010614557 (09.07.2010). Авторы Шпаков П.С., Юнаков Ю.Л., Шпакова М.В., Фролов И.А.
4. Шпаков П.С., Юнаков Ю.Л. Обоснование параметров устойчивых отвалов месторождения Эльдorado. Горный журнал №3,2017. С.20-25
5. Шпаков П.С., Юнаков Ю.Л. Устойчивость отвалов на месторождении «Эльдorado». Горный информационно-аналитический бюллетень. Mining informational and analytical bulletin. (научно-технический журнал). №6/2018. С.69-79.