

Кандидаты техн. наук Г.Д. Пчелкин,
В.В. Кустов
(ГВУЗ «НГУ»)
инженер А.В. Кустов
(ЧАО «ДФДК»)

УПРАВЛЕНИЕ УСТОЙЧИВОСТЬЮ ОТВАЛОВ ПОСРЕДСТВОМ ЭФФЕКТИВНОСТИ СЕГРЕГАЦИИ СКАЛЬНОЙ ВСКРЫШИ НА ОТКОСЕ

Розглянуто проблему впливу сегрегації гірничих порід у процесі формування техногенних родовищ та відвалоутворення на якісні показники потенційних корисних копалин та стійкості укосів відвалів. Запропоновано методика розрахунку стійкості укосу з урахуванням викривлення його поверхні та утворення контрфорсу із крупних фракцій вихідного матеріалу. Приведено загальну оцінку ефективності застосування нової методики розрахунку стійкості укосів для умов кар'єру «Центральний» ПрАТ «ДФДК»

DUMP STABILITY CONTROL THROUGH EFFECTIVE SEGREGATION OF ROCK STRIPPING ON THE SLOPE

The authors consider problem of the rock segregation impact on the quality indices of potential mineral resources and dump slope stability in the process of formation of man-made deposits and dumps. A new methodology is proposed for calculating slope stability with taking into account slope surface curvature and counterforce formed by the coarse fractions of output materials. Effectiveness of the new methodology for calculating the slope steadiness was estimated in the «Tsentralnyi» quarry of the PJSC «Dokuchaevsk Fluxing-Dolomite Industrial Complex».

На пути повышения эффективности и безопасности открытых горных работ требуется постоянно решать задачу по обеспечению устойчивости откосов отвалов. Центральным вопросом устойчивости является определение коэффициента запаса устойчивости массива, который определяется целым комплексом природных и техногенных факторов, в т. ч. структурной неоднородностью последнего.

Для обеспечения надежности откосов отвалов углы их наклона должны быть достаточно пологими. Экономика же требует, чтобы территория, занимаемая внешними отвалами вскрышных пород, была минимальной. Поэтому для увязки требования надежности с экономичностью необходимы точный расчет, строгое соблюдение условий обеспечения устойчивости откосов в процессе развития отвала и направленное воздействие на состояние массива.

Основы управления состоянием массива горных пород при открытой разработке месторождений полезных ископаемых заложены академиками В.В. Ржевским и Н.В. Мельниковым. Значительный вклад в теорию и практику развития научного направления по управлению устойчивостью откосов отвалов внесли Н.П. Панюков, Г.Л. Фисенко, И.И. Попов, Э.Л. Галустьян, А.И. Ильин, Н.Н. Куваев, В.Н. Попов, М.А. Ревазов, М.С. Четверик, А.Г. Шапарь и др.

Несмотря на множественные достижения, проблема обеспечения устойчивости откосов отвалов исходя из своей сложности и разнообразности горно-геологических и гидрогеологических особенностей вскрышных пород, остается актуальной. Практика показывает, что почти все отвалы сопровождаются

оползновыми явлениями.

Анализ устойчивости откосов отвалов, выполненный в ВИОГЕМ, показал, что 75% деформаций возникают в песчано-глинистых отложениях и только 25% - в откосах скальных и полускальных пород.

В данной работе рассмотрена проблема управления состоянием откосов отвалов для скальной вскрыши на основании свойств горных пород (гранулометрического состава, влажности) и применяемой технологии формирования отвала.

Гранулометрический состав горной породы может изменяться как в результате непосредственного технологического воздействия на неё, так и в результате определенных природных проявлений [1,2]. К числу последних относится процесс сегрегации, который имеет выраженное проявление при отвалообразовании скальных и сыпучих пород. При отсыпке таких пород в отвал более крупные куски скатываются по откосу и располагаются в нижней части; песок и мелкие куски остаются в верхней и средней частях отвала. Этот процесс положительно сказывается на устойчивости отвалов тогда, когда крупные куски представляют собой породы с высокой сдвиговой прочностью, что наблюдается чаще всего при открытых горных работах.

В работе Иванчишиной Л.П. и Ворон Е.А. [3] было указано влияние крупности породы и её влажности на значение углов естественного откоса, а именно, если рост степени крупности породы сказывается, главным образом, на уменьшении угла естественного откоса, то степень увлажнения отвальных пород – на его увеличении.

Изучение процесса сегрегации, его увязка с параметрами технологических процессов, свойствами горных пород – это один из путей управления состоянием устойчивости отвалов с целью повышения эффективности открытых горных работ.

Целью работы является установление закономерностей устойчивого состояния откосов отвалов, с учетом технологии формирования и особенностей сегрегации, которая проявляется при движении скальной вскрыши по откосу.

При оценке устойчивости откоса необходимо, во-первых, учитывать, что угол внутреннего трения по всему массиву отвала — величина непостоянная. В зависимости от структуры самого массива и воздействия на него различных факторов (в первую очередь под влиянием воды) она может изменяться в широких пределах. Во-вторых, в результате сегрегации пород поверхность откоса приобретает определенную кривизну, что следует учитывать при определении коэффициента запаса устойчивости.

Таким образом, явление сегрегации при укладке в отвалы скальной вскрыши является существенным. Целенаправленное его использование, с учетом особенностей технологических процессов, открывает значительные возможности в решении проблем:

- в прогнозировании параметров внешних и внутренних отвалов;
- в решении задач по управлению устойчивостью откосов отвалов;
- по реализации новых требований в сфере использования природных, и в

первую очередь, земельных ресурсов.

Процесс разделения породы по крупности при движении горной массы по откосу для условий отвалообразования скальной вскрыши рассмотрим на основании модели, согласно которой горная порода в процессе перемещения по откосу претерпевает фазные переходы [4]:

- первая фаза - это фаза движения горной массы в виде консолидированного образования, с коэффициентом разрыхления, обеспечивающим определенную стабильность объема рыхлых пород в данный момент времени;

- вторая (промежуточная) фаза характеризуется постепенным увеличением числа отдельностей, движение которых напоминает хаотически сталкивающиеся свободные частицы;

- третья фаза - это фаза «свободного движения» отдельностей, то есть когда подавляющее большинство частиц при своем движении периодически испытывают действие окружения с одного, максимум с двух направлений.

Вклад каждой из фаз в разделительный процесс горной массы двигающейся по откосу определяется свойствами горных пород, общей высотой отвала, производительностью отвалообразования (исходным потоком горной массы), технологией и параметрами процесса отвалообразования. Для определения зависимости угла естественного откоса от крупности породы и её влажности, а также изучения процесса сегрегации для скальной вскрыши, нами был проведен ряд экспериментов с использованием специального лабораторного стенда [5, 6]. При этом использовались рассевы переработки флюсов соответствующих классов ДОФ №1 и №2 ЧАО «Докучаевский флюсо-доломитный комбинат».

Скальная вскрыша, размещаемая во внутренние и внешние отвалы на флюсовых карьерах (ЧАО «Докучаевский флюсо-доломитный комбинат», ЧАО «Новотроицкое РУ» и ЧАО «Комсомольское РУ») имеет чрезвычайно широкий спектр по гранулометрическому составу.

Для изучения гранулометрической характеристики (табл.1) скальной вскрыши было выбрано три характерных участка на карьере «Центральный» ЧАО «ДФДК»

Гранулометрический состав массива взорванных пород на участках (табл. 1) определялся фотопланиметрическим методом по всей поверхности массива, с использованием шаблона для подсчёта содержания кусков различной крупности. При этом забой фотографировался с расстояния 20м через шаблон размером 1000 × 1000 мм с нанесенной масштабной сеткой 10×10 мм. С помощью этой сетки определялся средний размер отдельности и их число N на 1 м² массива по формуле МГИ:

$$N = \frac{n \cdot \sqrt{n}}{S \cdot \sqrt{S}} \quad (1)$$

где n – число отдельностей заданной крупности на измеряемой площади S (м²), шт.

Таблица 1 - Гранулометрический состав (усредненный) взорванной горной массы

Участок	Крепость Пород	Процентное содержание фракции			
		0-200	201-300	301-400	401- более
Эк-р № 31 (участок-1)	6	33.4	25.8	27.6	13.2
Эк-р № 43 (участок-2)	7	28.1	19.2	25.6	27.1
Эк-р № 46 (участок-3)	8	29,9	22,8	24,5	22,8

С целью повышения точности, данные фотопланиметрических измерений, сопоставлялись с натурными измерениями и результатами исследований по экспериментальным взрывным работам [7] на карьерах ОАО «ДФДК» в 2004 – 2005 г., что позволило обеспечить измерения с погрешностью не более 3 – 5%.

Для определения выхода любого класса крупности, построим суммарные характеристики (по плюсу), поскольку по виду частной характеристики невозможно прогнозировать распределение в исследуемых массивах взорванных скальных горных пород более крупных и мелких фракций (рис. 1).

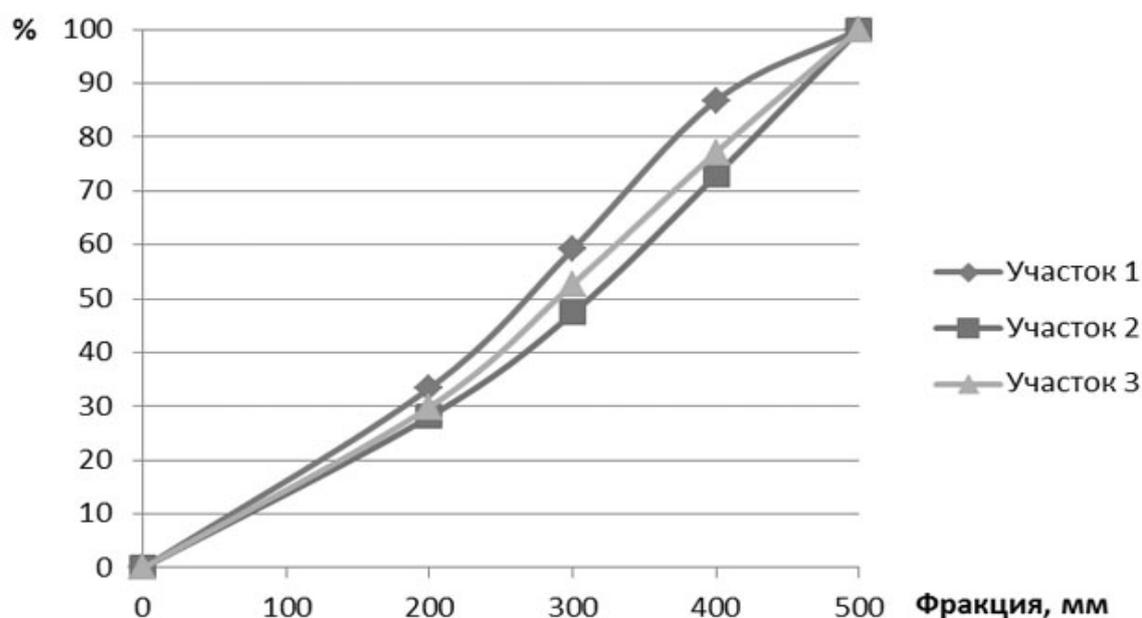


Рис. 1 – Суммарные характеристики крупности (по плюсу) взорванной горной массы

Наклон кривой в верхней части суммарной характеристики (рис. 1) для 1-го участка свидетельствует о незначительной доле кусков размером более 400 мм в общем объеме скальной массы. Гранулометрический состав породы со второго и третьего участков, как видно по поведению кривых, довольно схожи.

По результатам лабораторных исследований, было установлено, что породы, слагающие отвалы – малосжимаемые, вследствие чего при изменении вертикальной нагрузки от 1 до 12 кг/см² объемный вес образца породы изменяется незначительно. Это объясняется механическим составом пород, влияющим на их сжимаемость.

Исходным материалом для засыпки стенда служили хвосты обогащения известняков и доломитов ДОФ №1 ЧАО «ДФДК» крупностью 0 - 60 мм и товарное сырье «известняк флюсовый обычный» крупностью 20 – 50, 15 – 40, 40 – 80

мм. Материал предварительно был просушен естественным образом (под навесом) при температуре 25 – 32⁰С . Путем сухого отсева материала на ситах с ячейками размером 20.0, 30.0, 40.0 мм были получены соответствующие классы крупности 0 – 20.0, 20.0 – 30.0, 30.0 – 40.0, 40 – 80 мм. Из этих классов составлялись смеси заданного грансостава, которые моделировали грансостав скальной вскрыши на соответствующих участках карьера «Центральный» ЧАО «ДФДК», то есть взорванной породы. Для прогнозирования результатов применяем масштабный фактор 1:10. Эксперименты были проведены по следующим схемам:

- определение углов естественного откоса для выделенных классов крупности и заданной влажности проводилась при полном формировании плоскости откоса насыпи. Значение углов естественного откоса для материала разной крупности и влажности, полученное в результате эксперимента, приведено в табл. 2;

Таблица 2 - Значение углов естественного откоса в зависимости от класса крупности и влажности породы

Класс крупности, мм	Угол естественного откоса штабеля пород, (град. мин.)		
	Сухие породы	Влажные породы (весовая влажность W = 12%)	Мокрые породы (W ≥ 17%)
0 – 20.0	40 ⁰ 20'	44 ⁰ 00'	32 ⁰ 30'
20.0 – 30.0	34 ⁰ 35'	34 ⁰ 20'	33 ⁰ 15'
30.0 – 40.0	33 ⁰ 55'	33 ⁰ 35'	33 ⁰ 00'
40.0 – 80.0	32 ⁰ 30'	32 ⁰ 00'	31 ⁰ 50'

- во второй части эксперимента из исходных классов были приготовлены смеси моделирующие грансостав участков №№ 1, 2, 3. При формировании питателем штабеля на полную высоту стенда имитировалась экскаваторная и конвейерная отсыпка или разгрузка автосамосвалов или погрузчиков непосредственно на откос отвала, когда максимально происходил процесс дезинтеграции отсыпаемого объема в начальной стадии отвалообразования. Сформированный штабель делился на три равных слоя по высоте, каждый слой делился на заходки. Обработке подвергалась каждая заходка, т.е. определялся ее грансостав;

- в заключительном эксперименте отсыпка производилась по схеме, когда после заполнения всего фронта штабеля, специальным скребком производилось сталкивание массы под откос, этим имитировалась работа бульдозера. обработка этого эксперимента производилась по выше приведенной схеме.

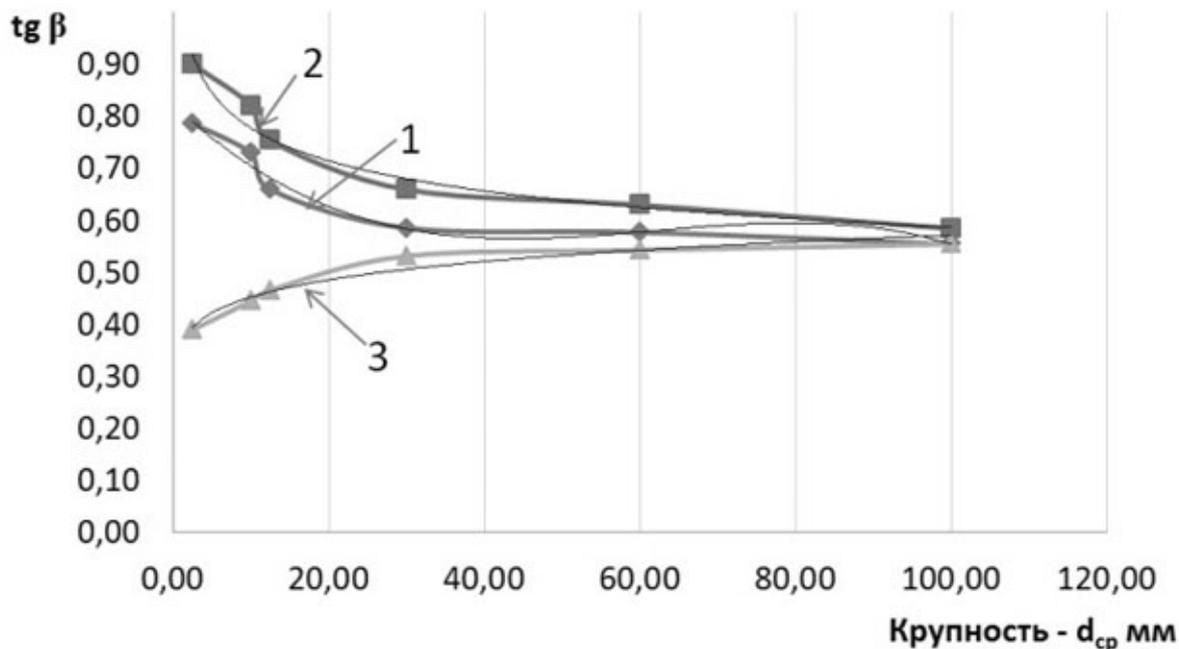
Основные выводы по результатам экспериментальных исследований сводятся к следующему:

- при отсыпке сыпучих пород на горизонтальное, либо на наклонное основание происходит установление определенного угла естественного откоса, который для данного типа пород определяется классом крупности и влажностью и не зависит от способа формирования насыпи (табл. 2);

- реальная поверхность откоса отвала, сложенного из сыпучих пород, имеет кривизну, которая определяется распределением масс по крупности и влажно-

стью слагающих пород.

Аналитическая зависимость между углом естественного откоса (тангенсом угла) и гранулометрическим составом сыпучей породы для выделенного горизонта штабеля прогнозирует результат натуральных измерений с погрешностью не более 3,5% (рис. 2)



Кривая №	Влажность породы	Уравнение кривой	Дисперсия
1	2%	$y = 1,0302x^{-0,122}$	$R^2 = 0,9746$
2	12%	$y = -1E-06x^3 + 0,0003x^2 - 0,0144x + 0,8251$	$R^2 = 0,9671$
3	>17%	$y = 0,3588x^{0,1011}$	$R^2 = 0,9601$

Рис. 2 – Изменение тангенса угла естественного откоса штабеля от класса крупности материала и его влажности;

- при отсыпке штабеля из скальных сыпучих пород определенного гранулометрического состава происходит перераспределение масс по крупности материала. В верхней части штабеля доминирует мелкая фракция, в нижней части – крупная. При этом более качественное разделение наблюдается при подаче исходного материала имитирующую разгрузку непосредственно на откос отвала, поскольку в этом случае обеспечивается максимальное рассредоточение слагающих частиц при падении на откос. При сталкивании материала скребком (имитация работы бульдозера) разделение породы по крупности выражено слабее, особенно в верхнем слое штабеля;

- характерной особенностью откоса является наличие в нижней части выполняющей призмы (контрфорса), состоящей из крупных фракций. Параметры призмы тем больше, чем выше процентный состав крупной фракции в исходном материале. При моделировании отвалообразования подобного конвейерному и материалу подобному грансоставу участка №1 формировалась призма высотой

равной 1/4 от высоты штабеля – H_0 , для участка №3 соответственно $1/3H_0$, а для участка №2 – более 1/3 высоты штабеля ($0,38H_0$). В тоже время при отсыпке штабеля толстыми слоями (имитация бульдозерного отвалообразования) разделение на фракции проявлялся в меньшей степени. В результате чего размеры вышлагающих призм составили: участок №1 – $0,2H_0$, участок №2 – $0,3H_0$, Участок №3 – $0,27H_0$;

- экспериментально установлено, что разделительная способность наклонной поверхности насыпных тел увеличивается по мере возрастания их высоты. В процессе сползания консолидированной массы происходит втирание в верхней части откоса мелких фракций в пространство между кусками крупных фракций. Постепенно просеиваясь, мелкие фракции-заполнители перемещаются от верха до основания штабеля, что позволяет сделать вывод о том, что для сыпучей горной породы определенного гранулометрического состава существует минимальная высота наклонной поверхности, с которой эффективно происходит разделение породы по крупности.

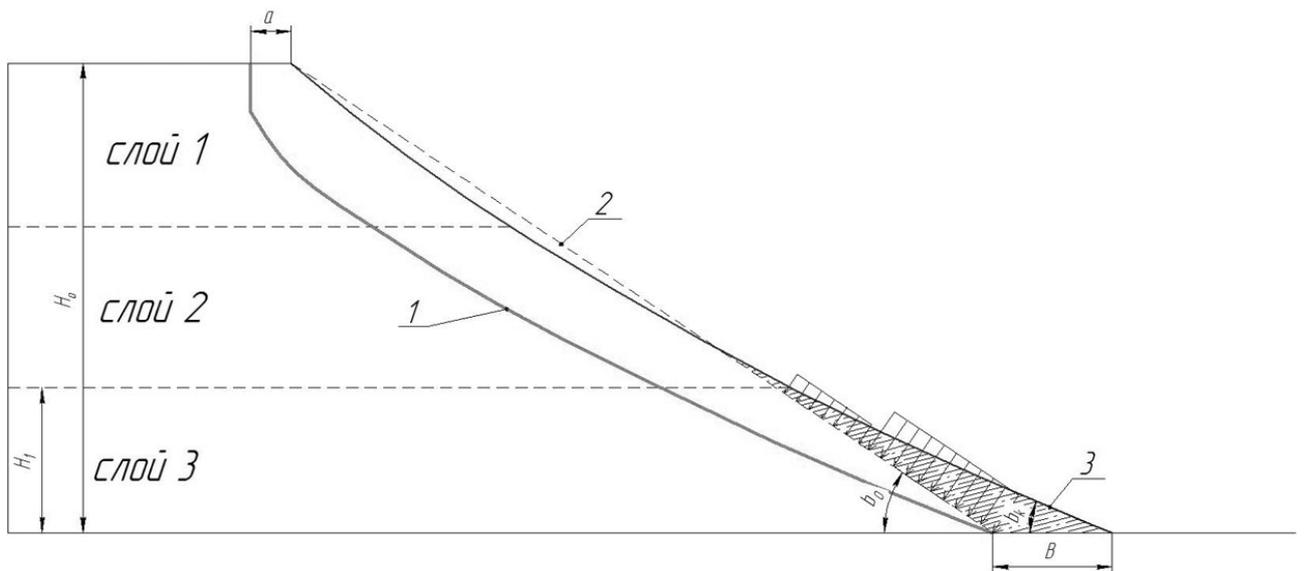
Таким образом, с целью максимального раскрытия складированного скального материала по крупности следует рекомендовать периферийную разгрузку автосамосвалов (одноковшовый колесных погрузчиков и экскаваторов) на отвалах с максимальным объемом отгружаемой пород непосредственно на откос или использовать конвейерное отвалообразование дробленых пород. Последнее представляется проблематичным, в силу необходимости первичного дробления скальной вскрыши для обеспечения приемлемого размера куска для конвейера.

Наличие слоистой структуры с разным коэффициентом сцепления отдельных и вогнутой поверхности откоса отвала (рис. 3), требует пересмотра подходов к методике определения коэффициента запаса устойчивости для отвалов из скальных вскрышных пород.

Расчет устойчивости неоднородных откосов отвалов осуществляем способом суммирования сил на поверхности разрушения. Коэффициент запаса устойчивости определяется по формуле:

$$F' = \frac{\sum \tau_{y\partial}}{\sum \tau_{c\partial}}, \quad (2)$$

где $\tau_{y\partial}$ и $\tau_{c\partial}$ - соответственно удерживающие и сдвигающие напряжения, действующие на поверхности разрушения.



1 – поверхность скольжения, 2 – прямолинейный откос

Рис. 3 – Схема расчета параметров для естественного контрфорса для предотвращения поверхностных и фильтрационных деформаций

При учете наличия естественного контрфорса необходимо в выражении для F учитывать нормальное давление σ_{\min}

$$F_k = \frac{\sum \tau_{y\partial} + \sigma_{\min} \times l_{\partial}}{\sum \tau_{c\partial}} \quad (3)$$

где l_{∂} – длина откоса на которую действует нагрузка контрфорса, м:

- участок 1 - $l_{\partial} = 8,2\text{м}$

$$F_{k1} = \frac{862 \cdot 0,869 + 1,97 \cdot 25,5 + 8,4 \cdot 8,2}{627} = 1,3811$$

- участок 2 - $l_{\partial} = 10,2\text{м}$

$$F_{k2} = \frac{862 \cdot 0,869 + 1,97 \cdot 25,5 + 8,4 \cdot 10,2}{627} = 1,41$$

- участок 3 - $l_{\partial} = 9,5\text{м}$

$$F_{k3} = \frac{862 \cdot 0,869 + 1,97 \cdot 25,5 + 8,4 \cdot 9,5}{627} = 1,40$$

С учетом естественной кривизны откоса, при наличии в нижней части призмы – контрфорса, коэффициента запаса устойчивости увеличивается на 10% - 12%. Это может служить основанием безопасного повышения высоты ярусов внешних и внутренних отвалов скальной вскрыши на 1,5м для пород с участка №1 и на 2 м с участков № 2 и 3.

Таким образом, зависимость коэффициента устойчивости от среднего куска

в скальной вскрыше при условии формирования яруса высотой 15м примет вид:

$$F_{к15} = 1,25 + 0,1514 \cdot d_{cp}$$

Для Н=20м

$$F_{к20} = 1,18 + 0,1495 \cdot d_{cp}$$

Для Н=25м

$$F_{к20} = 1,14 + 0,1424 \cdot d_{cp}$$

Исходя из приведенных выше расчетов, с учетом скорректированного коэффициента устойчивости отвалов, появляется возможность размещения дополнительно 10% объемов скальных вскрышных пород в пределах занятых под отвалы площадей, что является примером рационального природопользования при открытой разработке месторождений [9].

Положительный экономический эффект ожидается получить за счет сокращения площади, занимаемой отвалом скальной вскрыши, на 7% за счет увеличения высоты отвала и уменьшение платы за землю (на 7%).

Так существующая площадь земли, занимаемая внешним отвалом вскрышных пород карьера «Центральный» ЧАО «ДФДК» составляет 138 Га. С учетом скорректированного коэффициента устойчивости, его площадь могла бы составить 128 Га.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гальянов А. В. Исследование эффекта сегрегации при отсыпке рудных перегрузочных складов / А. В. Гальянов, Ю. В. Лаптев // Изв. УГГГА. Серия: Горное дело. – 1998. – Вып.7. – С. 62- 67.
2. Вилкул Ю.Г. Моделирование и исследование гравитационной сегрегации скальной горной массы в процессе отвалообразования с применением методов планирования экспериментов / Ю.Г. Вилкул, В.К. Слободянюк, А.С. Аралкин / – Разработка рудных месторождений. – 2007. – вып. 91.
3. Ворон Е.А. Проблемы складирования шахтных пород на ш. «Алмазная» / Е.А.Ворон, Л.П. Иванчишина // Геотехническая механика. – 2005. – Вып. 55. – С. 243 -247.
4. Кустов В.В. О математическом моделировании процесса сегрегации горной массы при формировании конусообразного объекта / В.В. Кустов, Г.Д. Пчелкин- *Металлургическая и горная промышленность.* – 2009. - №1. – с. 96-101.
5. Кустов В.В. Использование сегрегации при разработке техногенных месторождений с целью повышения качества продукции / В.В. Кустов, Г.Д. Пчелкин // *Материалы международной конференции «Форум горняков – 2009».* – 2009.- с.171 – 175.
6. Кустов В.В., Пчелкин Г.Д. О проблеме выбора технологий формирования и последующей разработки техногенного месторождения с учетом сегрегации горных пород / В.В. Кустов, Г.Д. Пчелкин // *Материалы международной конференции «Форум горняков – 2011».* – 2011.- с.99 – 104.
7. Исследовать физико-геологические условия устойчивости отвалов ДОФ, отвалов вскрышных пород карьеров и разработать предпроектную документацию по предупреждению оползневых явлений: Отчет о НИР (заключительный) / Научно-исследовательский горнорудный институт Донецкий филиал (ДонНИГРИ); Руководитель П. Н. Калмыков. – №01840026152. – Донецк, 1985. – 87 с.
8. Научные основы рационального природопользования при открытой разработке месторождений: моногр. / Г.Г. Пивняк, И.Л. Гуменик, К. Дребенштедт [и др.] – Д.: Национальный горный университет, 2011 – 568 с.

Д-ра техн. наук Т. А. Паламарчук,
А. А. Яланский,
гл. технолог Н. Т. Бобро
(ИГТМ НАН Украины),
д-р техн. наук В. П. Куринной
(ГВУЗ «НГУ»)

КЛАСТЕРНО-ИЕРАРХИЧЕСКИЕ СТРУКТУРЫ КАК РЕЗУЛЬТАТ ПРОЯВЛЕНИЯ МАСШТАБНОГО ЭФФЕКТА ПРОЧНОСТИ ГЕОМЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

На основі розгляду кластерно-ієрархічних структур, як результату прояву масштабного ефекту міцності геомеханічних систем, зроблено висновок, що для оцінки переважних розмірів блоковості, багаторівневих властивостей гірських порід і масиву необхідно залучати статистичний апарат полімодальних законів розподілу, що дозволяє розділяти багатомодальні розподіли і компонувати сумарний розподіл з простих розподілів.

CLUSTER-HIERARCHIC STRUCTURES AS A RESULT OF MANIFESTATION OF THE SCALE EFFECT OF GEOMECHANICAL SYSTEM STRENGTH

Basing on cluster-hierarchic structures considered as result of manifestation of the scale effect of geomechanical system strength, it is concluded that in order to estimate primary sizes of blocks and multilevel properties of the rocks and massif it is necessary to apply statistical laws of polymodal distribution, which allow to divide multimodal distributions and arrange total distribution consisting of simple distributions.

Общеизвестно, что неоднородность структуры присуща практически всем горным породам. Это вызвано, прежде всего, многокомпонентностью горных пород, а также наличием дефектов в структуре, максимальный размер которых сравним с размерами исследуемого образца горной породы. М. А. Садовский со своими сотрудниками в работах [1–4] убедительно доказывают, что неоднородность, присущая горным породам, упорядоченная, что во всех структурных отдельностях, существующих в горных породах, а также в гранулометрическом составе разрушенных горных пород наблюдается группирование отдельностей определенных размеров вокруг отдельностей с преимущественными размерами. В результате выполненных исследований авторами сделан вывод, что всем твердым материалам присуще общее свойство, состоящее в том, что при разделении их на части, а также при объединении отдельных частиц, распределение отдельных кусков по размерам представляет собой иерархическую последовательность преимущественных размеров, в первом приближении не зависящую от физико-химических свойств исследуемого материала. Деформируемый твердый материал рассматривается М. А. Садовским как открытая система элементов, каждый из которых находится в своем энергетическом состоянии, которое, в свою очередь, может изменяться от стабильного до неустойчивого [2, 4]. Если к рассматриваемой системе извне подводится энергия, то наблюдается взаимодействие отдельностей, при этом изменяются как их свойства, так и свойства