

УДК 622.023:622.271.33

д.т.н. Лабинский К. Н.,
к.т.н. Кустов В. В.
(ДонНТУ, г. Донецк, ДНР, kustovvv@mail.ru)

ВЛИЯНИЕ СВОЙСТВ ШАХТНЫХ ПОРОД НА ХАРАКТЕРИСТИКУ ОТКОСА И СТРУКТУРУ ТЕРРИКОНА

Исследовано комплексное влияние влажности и крупности сыпучих пустых пород и параметров отвалообразования на структуру техногенного образования — террикона. Даны рекомендации по применению полученных результатов для создания техногенных образований с прогнозируемой устойчивостью откосов, внутренней структурой и возможностью создания техногенных месторождений на основе управления процессом сегрегации сыпучих пород.

Ключевые слова: откос, отвал, кусковатость, террикон, угол естественного откоса, деформация, техногенные образования, сегрегация.

Актуальность и задача исследований. Эффективность современного горного производства существенно зависит от решения проблем природоохранного характера и в первую очередь комплексного освоения природных ресурсов с максимальным извлечением полезного компонента из недр и, как результат, сохранения земельных ресурсов района разработки.

Существенным резервом повышения эффективности разработки угольных месторождений служит изучение возможностей использования отходов производства в качестве техногенных месторождений [1].

При подземной разработке угольных месторождений Донбасса на поверхность выдается более 70 млн т горной породы ежегодно. В терриконах, занимающих площадь 8,5 тыс. га земли, заскладировано около 2 млрд м³ шахтных пород. Эти земли можно было использовать как в сель-

ском хозяйстве, так и для гражданского и промышленного строительства [2].

Большинство подобных действующих породных отвалов являются источником пыли, эксплуатируются в горящем состоянии, выделяя при этом углекислые и сернистые газы. Терриконы как техногенные образования опасны также в плане развития оползневых процессов. Поэтому **важной задачей** является оценка структуры террикона и характеристики откосов для проектирования технологии формирования новых техногенных месторождений сыпучих пород и возможности последующей их разработки.

Изложение материала и его результаты. Рассмотрим процесс формирования террикона, используя закономерность (1) распределения по фракциям кусков горных пород в поперечном сечении техногенного насыпного образования конусообразной формы [3]

$$R_{cp} = R_{max} \frac{(H-h)^2}{H^2} \left(1 - \frac{R_0}{R_{max}} e^{\frac{-r^2}{H^2 ctg^2 \alpha}} \right) + AR_0^3 \rho - BR_0^2 tg(\varphi) + CR_0 \lambda + \frac{R_{min}}{R_{max}}, \quad (1)$$

где R_0 , R_{max} и R_{min} — соответствующие значения для среднего, максимального и минимального (обычно $R_{min} \rightarrow 0$) размера куска исходного материала, м; $\gamma = R_{max} \times (H-h)^2 / H^2$ — нормировочный коэффициент; H — высота конуса, м; h — вы-

сота изучаемого горизонта (слоя) относительно основания, м; A , B и C — величины, характеризующие физико-механические свойства сыпучего материала и пропорциональные плотности куска ρ , коэффициенту внутреннего трения сыпучего материала

$f = \operatorname{tg}(\varphi)$ и коэффициенту λ , учитывающему особенность формы куска. Смысл данной закономерности заключается в том, что средний размер куска породы возрастает с удаленностью его положения относительно оси конуса. В результате вдоль вертикальной оси конуса формируется ядро в форме обелиска, состоящее из наиболее мелких фракций. Крупная же фракция концентрируется по краю основания конуса.

Произведем оценку мощности и формы слоев пород различной кусковатости в массиве террикона и формы его откоса в зависимости от гранулометрического состава исходного материала. В процессе формирования терриконов, которое происходило в течение десятилетий, изменялась технология проведения горных выработок: молотковая, буровзрывная, комбайновая. В результате чего изменялись не только максимальная крупность кусков горной породы и гранулометрический состав исходного материала, но и распределение в терриконе по величине среднего размера куска. Если при буровзрывном способе с использованием погрузочных машин максимальный размер куска составлял 350–400 мм, при комбайновом способе — 200–300 мм. В горной массе, разгружаемой в терриконы, частицы угля представлены в основном классом 0–100 мм.

При определении структуры террикона примем во внимание следующие обстоятельства:

- во-первых, при всем многообразии факторов, определяющих конечный гранулометрический состав дробленных горных пород, он в конечном итоге описывается нормальным распределением Гаусса — Лапласа;

- во-вторых, при определении структуры террикона как техногенного образования исходим из того, что при оценке гранулометрического состава дробленной породы наиболее широкое применение получила экспоненциальная функциональная зависимость Розина — Раммлера;

- в-третьих, поскольку одним из определяющих показателей качества взрывной

подготовки является максимальный размер куска по условию его погрузки и транспортирования, то для определенности дальнейшего рассмотрения примем гранулометрический состав, характерный для буровзрывного способа проведения горных выработок с максимальным размером куска 400 мм.

Террикон разделим условно на слои по преобладанию соответствующей крупности пород с привязкой границы каждого слоя к поверхности откоса насыпи, как указано на рисунке 1. Верхняя часть террикона (первый слой) сформирована классом пород 0–50 мм; второй слой — классом пород 50–100 мм; третий — 100–200 мм; четвертый слой представлен классом 200–300 мм и пятый — классом более 300 мм.

В работе [3] установлено, что сегрегация пород по высоте террикона происходит с такой же закономерностью, как и распределение кусков по крупности в отсыпном слое по откосу (рис. 1) при условии, что отсыпные породы близки по плотности. Исключение составляют пирит, уголь и другие минералы, которые существенно отличаются по плотности или являются специфическими для данного месторождения. Поскольку плотность угля в два раза меньше плотности всех наиболее распространенных пород, то следует ожидать, что он при размере 0–100 мм сосредотачивается в классе пород 0–50 мм или на границе между первым слоем (0–50 мм) и вторым слоем, который определяется крупностью 50–100 мм.

Формула для определения среднего диаметра зерен сыпучего материала зависит от принимаемого определяющего свойства при усреднении [4]. При решении вопросов дробления и измельчения материала за определяющее свойство, как правило, принимают расход энергии. В практике оценки кусковатости взорванной горной массы широко используется логарифмически нормальный закон распределения [5]. В настоящее время в электронных таблицах Excel и математическом редак-

торе Mathcad доступны функции (ЛОГНОРРАСП и phnorm, dinorm соответственно), позволяющие строить и анализировать кривые логарифмически нормального распределения. Средний размер куска (математическое ожидание) определяется выражением

$$d_{cp} = \frac{\sum d_{cpi} \times w_i}{100}, \quad (2)$$

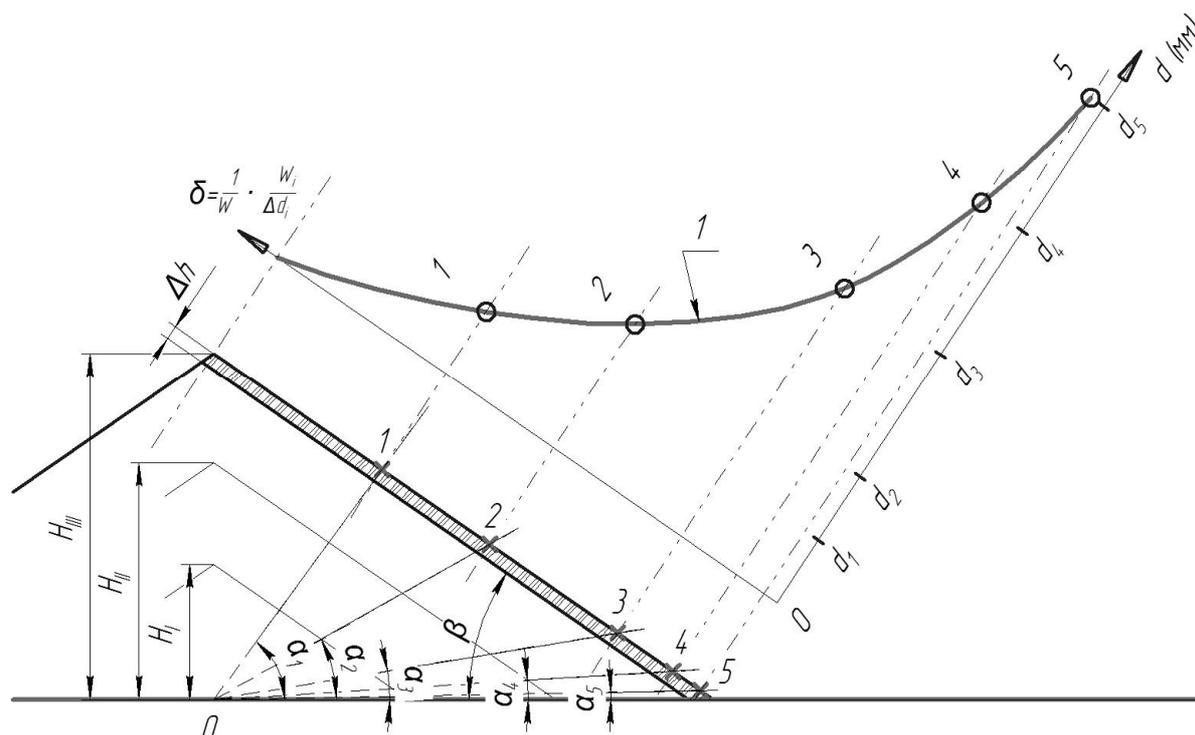
где w_i — весовой выход i -ой фракции ($i = 1 \div 4$); d_{cpi} — средний диаметр зерен i -й фракции, мм.

На основании результатов, полученных в работах [3, 7, 8], определим положение каждого i -го слоя через значение (3) параметра $H_i = f(d_{cpi})$, который фактически является положением нижней границы слоя относительно основания террикона

$$H_i = H - H \left[\frac{d_{cpi}}{d_{cp} - d_{cpi} \times e^{-\frac{r^2}{H^2 \operatorname{ctg}^2 \alpha}}} \right], \quad (3)$$

где H — высота террикона, м; H_i — положение нижней границы i -го слоя относительно основания террикона, м; r — удаленность границы слоя от вертикальной оси конуса террикона, м; α — угол естественного откоса i -го слоя.

Поверхность постоянного значения размера куска d_{cpi} имеет экспоненциальный прогиб, величина которого в первом приближении соответствует поверхности перевернутого конуса. Таким образом, мощность i -го слоя определяется значениями H_{i-1} и H_{i+1} по поверхности откоса (рис. 2).



H_1, H_2, H_3 — этапы образования насыпи; β — угол откоса; $\alpha_1 \dots \alpha_5$ — углы, определяющие границы (пределы) для соответствующей крупности

Рисунок 1 Схема к определению распределения сыпучего скального материала по крупности в тонком слое Δh откоса насыпного образования (террикона) на основе кривой I распределения частностей весовых выходов $\delta = f(d)$

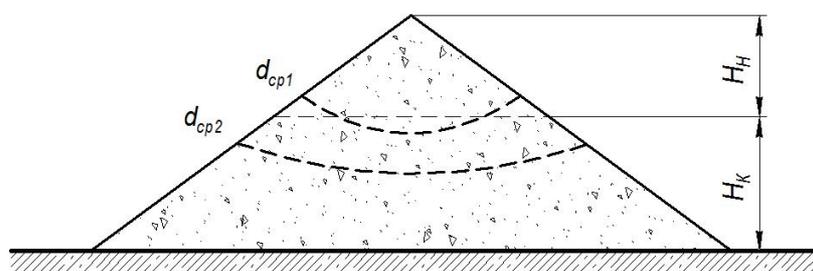


Рисунок 2 Форма ограничивающих поверхностей для i -го слоя по параметру d_{cpi} (обозначено пунктирными линиями)

Предложенная в работе [6] структура терриконов и хребтовидных отвалов дает общую картину распределения породы в массиве по ее плотности без явного учета параметра ее крупности. Более того, предложенная структура «плоских слоев» для террикона, как показали проведенные исследования [3], не вполне корректна, так как не учитывается факт образования осевого обелиска, сложенного мелкими фракциями.

С учетом результатов моделирования процесса сегрегации сыпучих пород [7] предлагается в первом приближении объем пород в слое определять как результат добавления и (или) вычитания объемов шаровых слоев к объему соответствующего конуса (рис. 2).

Объем верхнего первого слоя для крупности 0–50 мм при мощности слоя H_1

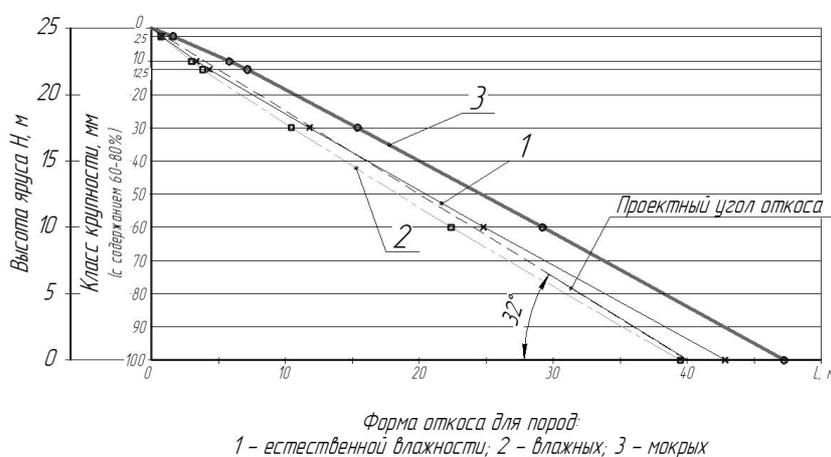
$$V_1 = \frac{\pi}{3} H_1^3 ctg^2 \beta, \text{ м}^3. \quad (4)$$

Объем шарового слоя V_i , положение которого определяется значением H_i , имеет вид

$$V_i = \frac{\pi}{3} ctg^2 \beta \times (H_i^3 - H_{i-1}^3). \quad (5)$$

На основании данных о распределении горных пород в терриконе по крупности и влажности [8] объем первого верхнего слоя составит 11–15 % (в зависимости от размеров среднего куска d_{cpi}), второго — 25–27 %, третьего — 26–30 %, четвертого — 31–35 % объема техногенного образования.

Поверхность откоса в вертикальном (осевом) сечении террикона имеет характерную кривизну, которая определяется как распределением масс по крупности по высоте насыпи в результате сегрегации, так и влажностью слагающих пород [7]. Зависимость угла естественного откоса от крупности и влажности горной массы представлена на рисунке 3.



Форма откоса для пород
1 - естественной влажности; 2 - влажных; 3 - мокрых

Рисунок 3 Форма откосов в зависимости от грансостава и влажности образующих слоев

Угол естественного откоса повышается главным образом в мелких фракциях горных пород с повышением влажности, но при достижении весовой предельной влажности резко снижается. Это может привести к возникновению оползневых процессов в результате смыва мелких фракций и накопления их в средней части откоса террикона.

Выводы и направление дальнейших исследований. Выполненные исследования позволили сделать следующие выводы:

1. Предложенная методика определения структуры террикона и объемов характерных слоев с прогнозируемым $d_{срi}$ позволяет произвести оценку возможности рассмотрения техногенного образования в качестве потенциального источника минерального сырья — техногенного месторождения, определить потенциальные запасы, выбрать рациональную систему разработки месторождения с учетом структурных особенностей массива.

2. Поверхность откоса в вертикальном (осевом) сечении террикона имеет характерную кривизну, которая определяется распределением масс по крупности по высоте насыпи в результате сегрегации. В верхней часть насыпи, которая сложена мелкими фракциями, угол естественного откоса 41° и может достигать при определенной влажности 51° [8]. У подножия

террикона концентрируются крупные фракции 300–400 мм и более, а угол составляет $32\text{--}34^\circ$. Таким образом, у подножия формируется естественная подпорная призма из крупных фракций. Как показали расчеты [8], наличие естественного контрфорса повышает коэффициент запаса устойчивости для откоса на 10–12 %. Увеличение влажности оказывает существенное влияние на состояние мелких фракций, что может привести к оползевым явлениям. Поскольку в них присутствует значительное содержание углесодержащих зерен, а они сосредоточены на вершине террикона, то миграция их к основанию требует дополнительных исследований слагающих пород, что требует изменений в подходах к определению устойчивости откоса техногенного образования.

3. Необходима разработка технологии отсыпки пород, позволяющая получать за счет сегрегации сырье с новыми качественными характеристиками.

Дальнейшие исследования будут направлены на разработку методики прогнозирования распределения по крупности и плотности горных пород и в первую очередь угля в массиве террикона с целью изучения его как потенциального техногенного месторождения с возможностью разработки его в будущие периоды.

Библиографический список

1. *Научные основы рационального природопользования при открытой разработке месторождений* [Текст] : моногр. / Г. Г. Пивняк, И. Л. Гуменик, К. Дребеништедт, А. И. Панасенко. — Дн. : Национальный горный университет, 2011. — 568 с.
2. Бент, О. И. *Экологические особенности шахтных терриконов Донбасса* [Текст] / О. И. Бент, Н. И. Беседа // *Уголь Украины*. — 1998. — № 36. — С. 47–48.
3. Кустов, В. В. *О математическом моделировании процесса сегрегации горной массы при формировании конусообразного объекта* [Текст] / В. В. Кустов, Г. Д. Пчёлкин // *Металлургическая и горная промышленность*. — 2009. — № 1. — С. 96–101.
4. Андреев, С. Е. *Дробление, измельчение и грохочение полезных ископаемых* [Текст] : моногр. / С. Е. Андреев, В. А. Перов, В. В. Зверевич. — [3-е изд., перераб. и доп.]. — М. : Недра, 1980. — 415 с.
5. Симонов, П. С. *Особенности распределения размера среднего куска и выхода негабарита при взрывных работах на карьерах* [Текст] / П. С. Симонов // *Горный научно-информационный бюллетень*. — 2017. — № 4. — С. 320–327.
6. Сухаревский, В. М. *Деформация породных отвалов* [Текст] : моногр. / В. М. Сухаревский, А. П. Стельмах, И. С. Фридман. — К. : Техника, 1970. — 180 с.

7. Лабинский, К. Н. Формирование и разработка техногенных месторождений на основе управления процессом сегрегации сыпучих пород [Текст] / К. Н. Лабинский, В. В. Кустов // Проблемы горного давления : сборник научных трудов. — Донецк : ДонНТУ, 2016. — Вып. 1 (28). — С. 79–88.

8. Лабинский, К. Н. Техногенные месторождения сыпучих горных пород: технология формирования и разработки [Текст] : моногр. / К. Н. Лабинский, В. В. Кустов ; ГОУ ВПО «ДонНТУ». — Донецк : Донбасс, 2017. — 160 с.

© Лабинский К. Н.

© Кустов В. В.

*Рекомендована к печати д.т.н., проф., зав. каф. СГ ДонГТИ Литвинским Г. Г.,
д.т.н., проф., зав. каф. СЗПСиГ ДонНТУ Борщевским С. В.*

Статья поступила в редакцию 02.12.2020.

Doctor of Technical Sciences Labinskiy K. N., PhD in Engineering Kustov V. V. (DonNTU, Donetsk, DPR, kustovvv@mail.ru)

INFLUENCE OF MINE ROCK PROPERTIES ON SLOPE CHARACTERISTIC AND TERRICONE STRUCTURE

There has been studied the complex influence of moisture and coarseness of loose empty rocks and parameters of dumping on structure of man-made formations — terricone. Recommendations are given on using the obtained results for creation of man-made formations with predicted stability of slopes, internal structure and possibility of creation of man-made deposits on the basis of control the segregation of loose rocks.

Key words: *slope, dump, lumpy, terricone, angle of natural slope, deformation, man-made formations, segregation.*