

УДК 504.05

**И. Н. КУЗЫК** (канд. техн. наук, доц.), **В. Н. АРТАМОНОВ** (канд. техн. наук, доц.),  
**А. М. КАМУЗ** (аспирант), **В. Л. ЧУДНОВЕЦ** (студент)  
Донецкий национальный технический университет

## ОСНОВЫ ТЕОРИИ ФИЗИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССА ОТВАЛООБРАЗОВАНИЯ

*В работе изложены основы теории формирования породных отвалов при физическом моделировании и разработана методика, на основе которой необходимо проводить исследования изменения параметров при различных технологиях отвалообразования*

*породный отвал, моделирование, физические параметры*

**Постановка проблемы.** В прикладных исследованиях широко применяется моделирование, которое позволяет при помощи модели представить процессы объективной действительности и изучить их как во времени так и в пространстве. Модель позволяет отобразить основные свойства объекта-оригинала при максимально возможном подобии модели и оригинала. Два объекта подобны, если при известных характеристиках одним простым перерасчетом можно получить характеристики другого [1,2]. Абсолютное подобие предполагает тождественность всех процессов в объектах в пространстве и во времени. Практическое подобие требуется только для тех процессов, которые являются наиболее важным для исследователя.

Теория подобия позволяет исследователю выбрать параметры модели, пересчитать данные модельного эксперимента на натурный объект, обобщить результаты исследований с возможностью расширения результатов экспериментов на более широкие диапазоны параметров. По В.А. Венникову различают модели как материальные, так и воображаемые [2]. В данном случае физическое моделирование отнесено к материальному и предполагает аналогию физических процессов, которые протекают в модели, тем, что наблюдаются в объекте-оригинале. Если физическая модель подобна оригиналу, то поставленный на ней эксперимент через масштабные коэффициенты может быть перенесен на натуру. Объектом моделирования в нашем случае является породный отвал (конический или плоский) при различном способе его формирования. Исходя из условия формирования породного отвала (допустим конического) необходимо определить цель физического моделирования, масштабирование параметров формируемого отвала, метод (способ) его формирования.

**Целью** физического моделирования в нашем случае является определение параметров породного отвала на модели, расчет, исходя из этого, изменений площади основания ( $S_{\text{осн.п.о}}$ ), объема ( $V_{\text{п.о}}$ ), площади боковой поверхности ( $S_{\text{бок.пов.п.о}}$ ) при шаге  $\Delta h=10_{\text{м}}$  для установления зависимостей  $S_{\text{осн.п.о}}=f(H)$ ;  $V_{\text{п.о}}=f(H)$ ;  $S_{\text{бок.пов.п.о}}=f(H)$ .

**Материалы и обсуждение.** Физическое моделирование должно учитывать условия, необходимые для воспроизведения на модели процесса формирования отвала. Физическая сущность этого явления состоит в том, что порода выдается на поверхность и по транспортным коммуникациям попадает к месту отвалообразования.

Куски породы при выгрузке из транспортного устройства (вагонетка, конвейер и т.д.) движется по наклонным плоскостям, которые образованы другими кусками породы. Учитывая, что эти плоскости весьма неровные и имеют углубления, выступы, площадки. Особое место в формировании неровностей играет крупность кусков породы. Порода под собственным весом катится по наклонной плоскости, сталкивается с другими кусками, и останавливается на этой плоскости лишь в случае, когда происходит полная потеря энергии движущего куска (а это силы трения) и он размещается в соответствующем выступе или углублении. Есть мнение (Меркулов В.А., Мещеряков Б.Ф.), что крупные куски породы, обладая большей кинетической энергией, скатываются к основанию породного отвала и формируют основу для размещения более мелких кусков породы. В конечном итоге формируется плоскость, угол которой соответствует углу естественного откоса. В нашем случае (лабораторные исследования) этот угол соответствует 28-38°. Физические величины, играющие существенную роль для формирования породного отвала при свободной отсыпке породы представлены на рис. 1.



Рисунок 1 – Классификация основных физических величин при формировании породного отвала

Необходимые условия подобия следующие:

- 1) соотношение геометрических размеров отвала к гранулометричному составу;
- 2) соотношение массы, плотности и геометрических размеров куска;
- 3) соотношение длины транспортирования (откоса) с учетом ускорения свободного падения к начальной скорости движения куска породы (критерий Фруда).

Выявленные отношения необходимо оформить в виде системы соответствия модели и природы [2], которые описываются следующими уравнениями:

$$d_{ом} = d_{он} \frac{l_{ом}}{l_{он}},$$

$$v_{ом} = v_{он} \cdot \sqrt{\frac{l_{ом}}{l_{он}}},$$

$$\gamma_{м} = \gamma_{н} \cdot \frac{G_{м} \cdot d_{он}}{G_{н} \cdot l_{ом}},$$
(1)

где  $d_0$  – размер куска породы;  $d_{он}, d_{ом}$  – размер куска породы природы, модели;  $v_{ом}, v_{он}$  – начальная скорость движения куска породы модели, природы;  $\gamma_{м}, \gamma_{н}$  – плотность породы, модели;  $l_{ом}, l_{он}$  – длина склона модели, природы;  $G_{м}, G_{н}$  – масса куска породы модели, природы.

В случае если плотность породы модели и природы равны ( $\gamma_{м} = \gamma_{н}$ ), то соотношение массы куска породы и его диаметра выражаются:

$$\frac{G_{м}}{G_{н}} = \frac{d_{ом}^3}{d_{он}^3},$$
(2)

Можно планировать проведение физического моделирования только при одинаковом размере куска породы модели и природы исходя из основных параметров моделируемого отвала: высоты, углов откосов склонов. Так, при масштабе 1:1000, т.е. в 1 см модели – 10 м природы, размер куска породы 1 мм – 10 см.

Учитывая средневзвешенные размеры кусков породы реальных отвалов 25-180 мм, можно считать, что подобие в нашем случае соблюдается.

Материалами для физического являются дробленая порода, шлаки, щебень, песок. Гранулометрический состав модели соответствует гранулометрическому составу природы с учетом масштаба моделирования. В качестве модели рассматривались конические, плоские и хребтовидные отвалы. Особое место отведено отвалам коническим, которые перепрофилируются в плоские.

Моделирование происходило с учетом технологии формирования отвала:

- формирование породного отвала идеальной конической формы при углах  $\alpha = \beta$  и подача породы сверху на вершину (рис. 2,а);
- формирование отвалов при подаче породы по хвостовому склону на вершину и отсыпание ее по лобовому склону  $\alpha \neq \beta$  (рис. 2,б).

Таким же образом разборка породных отвалов моделировалась с шагом 10 м (с учетом масштаба 1 см). Таким образом, отсыпка отвала при моделировании позволяет определять изменения параметров при шаге 10 м (1 см - модели). Образцы таблиц, которые необходимо заполнять при проведении моделирования приведены в табл.1.

Таблица 1 – Параметры породного отвала, определяемые на модели

Высота $H_i$ , м	Замеры																								
	Радиус основания $r_i$ , м								Длина образующей $l_i$ , м								Угол откоса $\alpha_i$ , град								
	1	2	3	4	5	6	7	8	1	2	3	4	5	6	7	8	1	2	3	4	5	6	7	8	
10																									
20																									
...																									
100																									

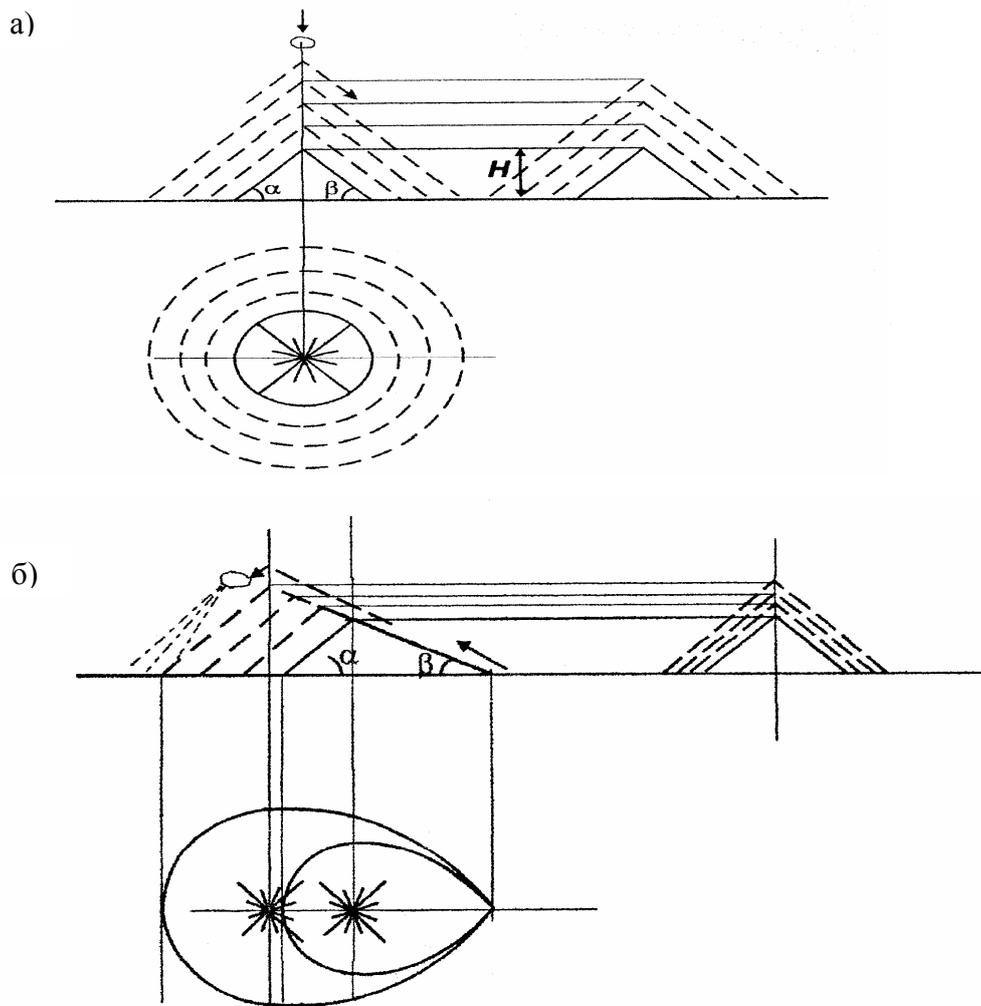


Рисунок 2 – Разные способы формирования отвала при моделировании: а – при вертикальной подаче породы; б – при подаче породы на лобовую часть отвала

Следует учитывать особенности формирования породных отвалов:

- для конических с вертикальным или односторонним отсыпом породы (рис.2);
- для плоских – сформированных или подвергнутых перепрофилированию.

Выполнение исследований по физическому моделированию процесса формирования породного отвала (при определении необходимых параметров) разрешит получить объект-аналог реального породного отвала любой формы. Также надо учитывать идеальный характер этого объекта и в дальнейшем вносить соответствующие коэффициенты, перенося лабораторные исследования на реальные объекты [2, 3].

Последовательность формирования моделей породных отвалов различной формы представлена на рис. 3.

При формировании физической модели конического породного отвала до высоты  $H=100$  м производились замеры его параметров, которые сводились в табл. 1 и впоследствии служили основой для расчета, а именно площади боковой поверхности, площади полной поверхности, объема, площади основания.

Формирование отвала при моделировании проводилось по схеме соответствующей рис. 2,б.

Замеры параметров  $r_i$ ,  $l_i$ ,  $\alpha_i$  проводились на каждом этапе формирования отвала (через 10 м) по основным направлениям до высоты  $H=100$  м.

На основе построения более 60 моделей конического породного отвалов и замеров его параметров позволило установить численные значения площади боковой поверхности ( $S_{бок.п}$ ), площади основания ( $S_{осн}$ ), полной поверхности ( $S_{пол.}$ ), объема ( $V_{п.о}$ ) в зависимости от изменения высоты отвала (табл. 2).

Таблица 2 – Расчетные параметры модели конического породного отвала

№, п/п	$H_i$ , м	$S_{осн_i}$ , $M^2$	$S_{бок.п_i}$ , $M^2$	$S_{пол.п_i}$ , $M^2$	$V_{п.о_i}$ , $M^3$
1	10	1544	1648	3192	5682
2	20	3177	7937	11114	23520
3	30	5536	14730	20266	62960
4	40	9902	25929	35831	148675
5	50	14946	39550	54446	277100
6	60	24697	69220	93917	539487
7	70	33684	97300	130984	868296
8	80	38378	125550	163928	1141180
9	90	51912	155160	207072	1735580
10	100	60694	172200	232894	2277200

В результате статистической обработки расчетных параметров модели конического породного отвала получены зависимости, позволяющие оценить степень их изменения и прогнозировать параметры на достаточно большой период времени [3, 4].

Зависимости изменения площади основания ( $S_{осн.п.о}$ ), площади боковой поверхности ( $S_{бок.п.о}$ ), площади полной поверхности ( $S_{пол.п.п.о}$ ) и объема породного отвала ( $V_{п.о}$ ) от его высоты  $H$  выражаются уравнениями:

$$\begin{aligned}
 S_{осн.п.о} &= 569,49H^2 + 516,1H - 316,75 \\
 S_{бок.п.о} &= 1609H^2 + 2702,7H - 5838 \\
 S_{пол.п.п.о} &= 2176,4H^2 + 3223,8H - 2207 \\
 V_{п.о} &= 36720H^2 - 160039H + 174462
 \end{aligned}
 \tag{4}$$

Используя уравнения (3) можно осуществить прогнозирование изменение этих параметров для модели при увеличении высоты ( $\Delta H=10$  м). Результаты прогноза представлены в таблице 3.

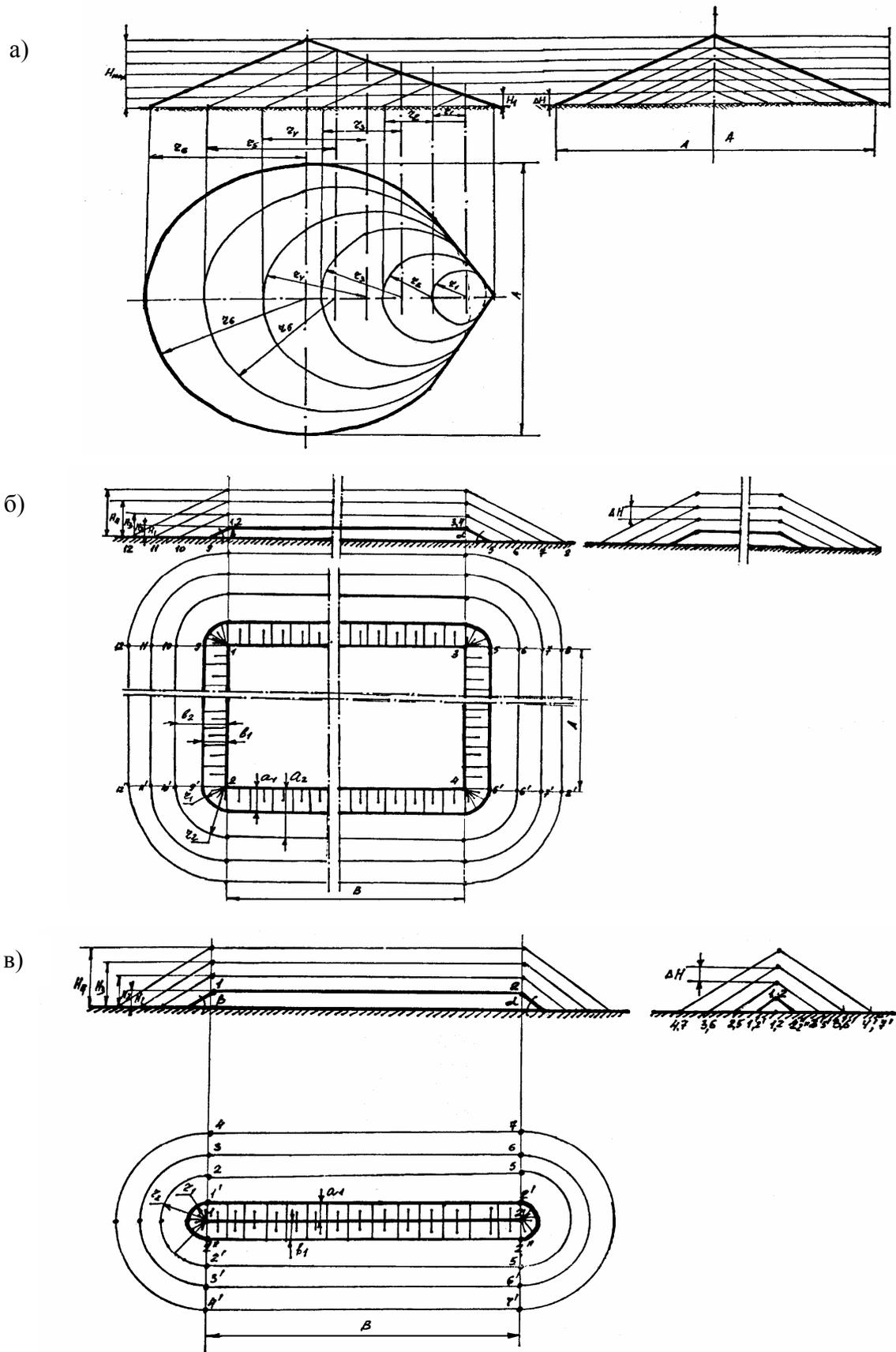


Рисунок 3 – Этапы построения физических моделей породных отвалов различной формы: а – конические; б – плоские; в – хребтовидные

Таблица 3 – Результаты прогнозирования изменения  $S_{осн.п.о}$ ,  $S_{бок.п.о}$ ,  $S_{пол.п.о}$ ,  $V_{п.о}$  для модели

$H_i$ , м	$S_{осн.п.о}$ , $M^2$	$S_{бок.п.о}$ , $M^2$	$S_{пол.п.о}$ , $M^2$	$V_{п.о}$ , $M^3$
110	74257	218386	292643	2637261
120	87870	258054	345924	3331603
130	102621	300936	403557	4130706
140	118511	347032	465543	5040486
150	135539	396342	531880	6066715

Проведенные исследования позволяют осуществить прогноз изменения параметров действующих породных отвалов в зависимости от высоты с достаточной степенью точности с учетом коэффициента несоответствия параметров реального отвала параметрам отвала при моделировании [3, 4]. Для прогнозирования рассматривались породные отвалы с высотой от 20 до 130 м. Основой для этого служит анализ статистических данных по всем коническим отвалам Минуглепрома Украины и их количество в зависимости от высоты (табл. 4).

Таблица 4 – Распределение конических отвалов Минуглепрома Украины по высоте

Показатель	Высота отвалов, м													Всего
	$\leq 20$	21-30	31-40	41-50	51-60	61-70	71-80	81-90	91-100	101-110	111-120	121-130	> 130	
Количество отвалов	42	36	42	44	41	33	30	15	9	3	1	1	-	247

Примером в этом случае может быть прогнозирование параметров реального породного отвала с определенными паспортными данными, которые приведены для породного отвала № 1 шахты «Чайкино» в табл. 5.

Таблица 5 – Прогнозирование параметров породного отвала №1 шахты «Чайкино»

Параметры отвала	Обозначения	Значения при $H=63$ м		Коэффициент изменения	Прогнозируемые значения при $H=100$ м
		Реальные	По зависимости		
Площадь основания, $M^2$	$S_{осн.п.о}$	21200	25100	0,83	51253
Площадь боковой поверхности, $M^2$	$S_{бок.п.о}$	-	63340	1,08	198963
Общая площадь поверхности, $M^2$	$S_{общ.п.п.о}$	-	94740	1,08	250216
Объем породного отвала, $M^3$	$V_{п.о}$	398000	539600	0,74	4030040

*Вывод.* При изменении высоты отвала до 100 м приведет к увеличению площади основания в 2,4 раза, боковой поверхности в 2,9 раза, общей площади в 2,6 раза и объема в 10 раз. Так как площадь земельного отвода практически исчерпана, то места под отсыпку отвала высотой до 100 м в будущем нет. Уже сейчас работы по формированию необходимо прекратить – в непосредственной близости от отвала расположены жилые здания, где проживают люди. Ни о каком перепрофилировании не может идти и речи. Места под это мероприятие нет. Единственным выходом является разборка породного отвала и использование породы для закладки выработанного пространства в шахте, производство строительных материалов, использование породы для перепрофилирования ландшафтов или проведения озеленения с дальнейшим использованием отвала как ландшафтного объекта [5].

### Библіографічний список:

1. Седов Л.И. Методы подобия и размерности в механике / Л.И. Седов. – М.: Наука, 1981. – 448 с.
2. Веников В.А., Веников Г.В. Теория подобия и моделирования / В.А. Веников, Г.В. Веников. – М.: Высшая школа, 1984. – 439 с.
3. Кузык И.Н. Формирование критериев экологической опасности породных отвалов шахт / Кузык И.Н. // *Екологія та природокористування: збірник наукових праць Інституту проблем природокористування та екології НАН України.* – Дніпропетровськ, 2009. – Вип. 12. – С. 156-160.
4. Кузык И.М. Прогнозування змін параметрів породних відвалів / І.М. Кузык, В.М. Артамонов, Д.О. Козир // *Сучасні проблеми екології та геотехнології: V Міжнародна конференція: тези.* – Житомир, 2008. – С. 26-27.
5. Канин В.А. Комплексное решение экологических проблем в крупных промышленных районах / В.А. Канин, Н.Г. Тиркель, Н.Н. Киселев // *Уголь Украины.* – 2004. – № 9.

*Надійшла до редакції 21.09.09*

*I. M. Kuzik, V. M. Artamonov, A. M. Kamuz, V. L. Chudnovets*

#### **ОСНОВИ ТЕОРІЇ ФІЗИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ВІДВАЛОУТВОРЕННЯ**

*В роботі наведені основи теорії формування породних відвалів при фізичному моделюванні та розроблена методика, на основі якої необхідно проводити дослідження зміни параметрів при різних технологіях відвалоутворення породний відвал, моделювання, фізичні параметри*

*I. Kuzik, V. Artamonov, A. Kamuz, V. Chudnovets*

#### **THE BASIS OF THE THEORY OF DUMPING PROCESS PHYSICAL MODELING**

*The paper provides the fundamental theory of dumping process physical modeling and offers the methods which help to investigate the change of parameters in different dumping technologies.  
rock dumps, modeling, physical parameters*

© *И. Н. Кузык, В. Н. Артамонов, А. М. Камуз, В. Л. Чудновец, 2009*