

ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ И СВОЙСТВ РЫХЛЫХ ПОРОД НА ОСОБЕННОСТИ СТРУКТУРЫ И ХАРАКТЕРИСТИКУ ОТКОСА НАСЫПНОГО ТЕХНОГЕННОГО ФОРМИРОВАНИЯ

Г.Д. Пчелкин, В.В. Кустов, А.В. Кустов, Национальный горный университет, Украина

При открытой разработке месторождений полезных ископаемых процессы отвалообразования и складирования горной массы являются, как правило, завершающими в технологической цепи горного производства. Несмотря на многообразие применяемых технологий формирования отвалов и складов готовой продукции, на разницу их функционального предназначения, общим для подобных объектов является то, что они представляют собой техногенные формирования насыпного характера. При проектировании, строительстве и эксплуатации отвалов (складов) особое значение приобретает вопрос устойчивости откосов [1]. В этой связи существует проблема прогнозирования предельного угла откоса сыпучих горных пород равного углу внутреннего трения (углу естественного откоса). Указанная проблема приобретает свою актуальность как при внешнем отвалообразовании с предельно допустимыми высотами ярусов, для минимизации экологических издержек, так и при отвалообразовании в выработанное пространство карьеров.

В то же время, в практике горного производства существует проблема прогнозирования распределения кусков горной массы по высоте отвала (склада) в зависимости от всей совокупности факторов [2], определяющих условия отсыпки: физико-механических свойств и гранулометрического состава горной породы; формы ее отдельных кусков; геометрических параметров поверхности отвального откоса; параметров отвалообразования. Известно, что в процессе спонтанного разделения горной массы по крупности (эффект сегрегации) на отвалах и перегрузочных площадках создаются предпосылки [3] для последующей селективной разработки техногенных месторождений с учетом гранулометрического состава горной массы, накопленной в слоях формирования.

Это связано с тем, что отсыпка материала производится наклонными слоями, а распределение масс породы по крупности приводит к образованию слоев, которые расположены параллельно основанию отвала.

Основная закономерность сегрегации отчетливо просматривается при визуальном анализе поверхности откосов отвалов: концентрация мелких фракций в верхней части откосов, крупных фракций – в нижней их части. Однако для решения широкого круга инженерных, технологических и экологических задач необходимо знать изменение гранулометрического состава, пористости, коэффициента фильтрации, насыпной плотности пород и других показателей по всей высоте насыпного тела.

Таким образом, установление связи между углом естественного откоса (формой откоса) и характером изменения гранулометрического состава и других свойств горных пород по всей высоте насыпного тела представляет определенный научный интерес.

Цель работы – установления зависимости между гранулометрическим составом сыпучих пород и предельным углом откоса с учетом влажности материала.

Для достижения поставленной цели решали следующие задачи:

- разработка методики экспериментальных исследований и конструкции лабораторного стенда;
- обоснование и выбор гранулометрического состава горной массы, используемой в экспериментах;
- определение и оценка физико-механических свойств горной массы, используемой в экспериментах;
- определение функциональной зависимости между значением предельного угла откоса и гранулометрическим составом скальной породой, в том числе с учетом влажностной характеристики последней;

- определение величины вогнутости (кривизны) поверхности откоса для смеси, состоящей из частиц разной крупности;
- разработка методики обработки экспериментальных данных;
- разработка практических рекомендаций по совершенствованию технологии производства отвальных и маркшейдерских работ на карьерах.

Гранулометрический состав материала для проведения лабораторно-промышленных исследований принимался на основе анализа грансостава взорванной породы на карьерах (табл.1) и отходов переработки металлургических флюсов на ДОФ горных предприятий Донбасса (ЧАО «Докучаевский флюсо-доломитный комбината», «Новотроицкое рудоуправление» и «Комсомольское рудоуправление») с применением уравнения Розина-Раммлера.

Таблица 1

Гранулометрический состав взорванной горной массы на карьерах ЧАО «ДФДК»

Карьер, дата взрыва	Крепость пород, f	Процентное содержание фракций, мм			
		0 - 200	201 - 300	301 - 400	Более 400
Центральный 14.08.08 г.	6	23.4	25.8	27.6	23.2
Центральный 14.08.08 г.	6	28.9	20.7	29.6	20.8
Центральный 6.10.08 г.	6	26.1	22.2	28.3	23.4
Восточный 8.10.08 г.	8	28.2	24.7	22.4	24.7
Восточный 8.10.08 г.	8	30.9	23.8	25.5	23.8
Доломитный 25.07.08 г.	10	28.5	25.1	24.9	21.5
Доломитный 4.10.08 г.	10	27.9	23.3	26.8	22.0

Для взорванных пород подобран масштабный фактор 1:100 (состав А), а для экстраполяции результатов экспериментов использовали гранулометрический состав материала с масштабным фактором 1:5 (состав В).

Таблица 2

Гранулометрический состав исследуемого материала (составы А и В)

Фракции состава А, мм	Фракции состава В, мм	Вес фракции, кг	Содержание, %
-2.0	-10	55.4	27.7
+2.0...- 3.0	+10.0...-15.0	47.2	23.6
+3.0...-4.0	+15.0...-20.0	52.8	26.4
+4.0...-10.0	+20.0...50.0	44.6	22.3
всего	-	200.0	100

Для отходов переработки ДОФ, которые представлены сыпучими породами, применяем масштаб 1:1 (состав С).

Таблица 3

Гранулометрический состав отходов переработки (состав С)

Фракции состава С, мм	Вес фракции при естественной влажности, кг	Содержание, %
-2.0	49.0	24.5
+2.0...- 5.0	63.6	31.8
+5.0...-10.0	34.2	17.1
+10.0...-15.0	32.4	16.2

+15.0...-20.0	16.4	8.2
+20.0...-60.0	3.6	1.8
+60	0.8	0.4
Всего	200.0	100

Физико-механические свойства горной массы определялись по известной методике [4]. Насыпная масса породы состава А составила $\gamma = 1.480 \times 10^3 \text{ кг/м}^3$, состава В - $\gamma = 1.561 \times 10^3 \text{ кг/м}^3$, состава С - $\gamma = 1.501 \times 10^3 \text{ кг/м}^3$.

С целью моделирования процесса сегрегации сыпучих пород, который происходит в процессе формирования техногенных месторождений, были проведены эксперименты на специально изготовленном стенде (рис.1), а так же были выполнены эксперименты на промплощадках ряда объектов горного предприятия (внешние и внутренние отвалы карьера «Центральный», напольные склады готовой продукции ДОФ ЧАО «Докучаевский флюсодоломитный комбинат»). Подобной конструкции стенд был использован в работах [6,7] для похожих целей.



Ри

с. 1. Общий вид лабораторного стенда для моделирования сегрегации сыпучих пород

Лабораторный стенд (рис.2) состоит из металлического каркаса 1 размерами 2000×1000×500 мм. Несущие элементы выполнены из металлического уголка – 75мм ГОСТ - 6785, соединение элементов между собой разъемное с помощью болтов $d = 8\text{мм}$. Боковая поверхность (передняя стенка) 2 выполнена стеклянной (стекло класса «сталинит» -8мм) для визуального наблюдения за процессом отсыпки и структурой моделируемого отвала, а задняя стенка – съемный фанерный щит на деревянном подрамнике с шероховатой поверхностью и со стеклянной нижней частью, для контроля симметричности распределения.

Внутри стенда, для моделирования отгрузки на наклонную поверхность, устанавливается щиток 3, угол установки, которого можно варьировать от 0 до 45° . Поверхность щитка футерована слоем отсыпаемого материала. Стенд устанавливается на основании 4. Загрузка стенда исходным материалом может осуществляться как при помощи конвейерного питателя 7, установленного под бункером 5 и способного перемещаться по направляющим 6, так и по-

средством специального скребка (на рисунке скребок не обозначен). Таким образом, в первом случае моделируется работа конвейерных отвалообразователей, а во втором – отвалообразование с применением бульдозеров и автомобильного транспорта.

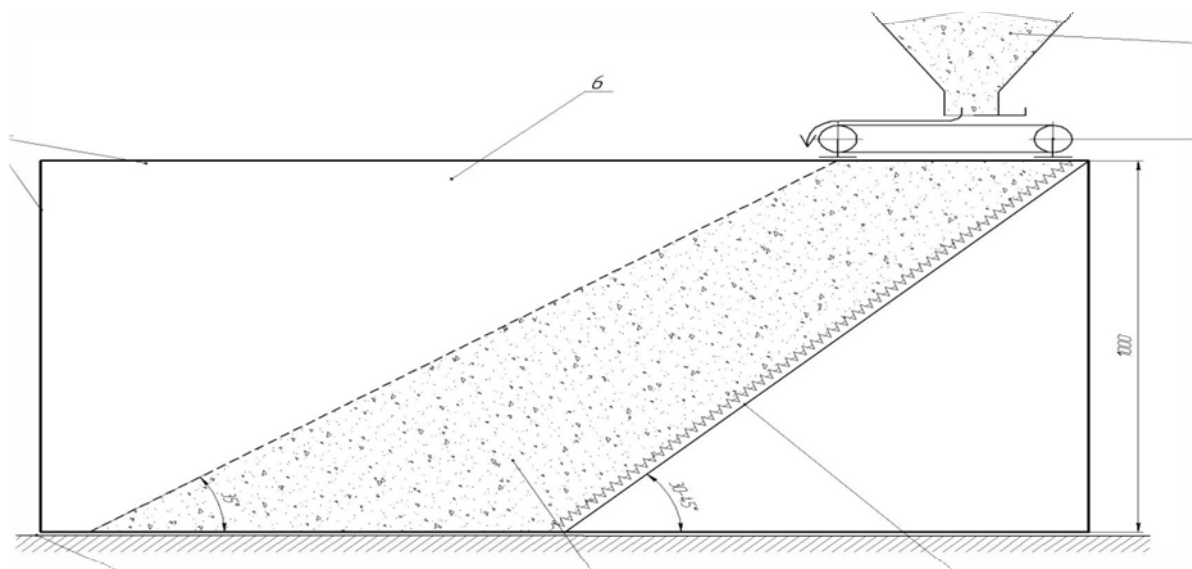


Рис. 2. Схема лабораторного стенда

Цель проведения экспериментов состояла в исследовании закономерностей разделения скальных пород из сыпучего материала по крупности при отсыпке их на наклонную плоскость, которая устанавливалась под различными углами (в т.ч. под углом естественного откоса этих пород).

В процессе проведения экспериментов отсыпка опытных штабелей производилась на горизонтальное и на наклонное основание для различных по грансоставу составов. Формирование штабеля осуществлялось двумя способами. В первом случае отсыпка штабеля осуществлялась непрерывной подачей дробленого материала на наклонный щиток, который устанавливался последовательно под углами 30° , 35° и 40° (конструктивное исполнение позволяет устанавливать угол отсыпки от 18° до 90°). Последовательная отсыпка рудного материала на пионерную насыпь вдоль фронта штабеля производилась до полного формирования плоскости с углом естественного откоса.

Во втором случае отсыпка производилась по схеме: в точку разгрузки отсыпалось три равных порции по 0.01 м^3 каждая так, что две порции ссыпались под откос, а третья – на бровку. После заполнения всего фронта штабеля специальным скребком производилось сталкивание массы под откос, этим имитировалась работа бульдозера. Затем все операции повторялись до полного заполнения стенда.

После заполнения всего штабеля и его откоса определялся угол естественного откоса для каждой отдельной фракции и смеси (таблица 4).

Таблица 4

Значение углов естественного откоса в зависимости от крупности и влажности породы

Крупность породы, мм	Угол естественного откоса штабеля породы, (град.мин)		
	Естественная влажность, 2%	Влажность 12%	Мокрых (>17%)
-2,50	38,20	42,00	21,30
+2,50...-10,0	36,10	39,40	24,00
+10,0...-12,5	33,40	37,00	25,00
+12,5...-30,0	30,35	33,40	28,00
+30,0...-60,0	30,00	32,20	28,50
+60,0...-100,0	29,00	30,30	29,00

Значение влажности варьировалось от 0,02 – естественная влажность, до влажности 0,17 при которой еще доминируют свойства твердого тела. Нижний уровень для размера среднего куска – 0мм, а верхний уровень составлял 100мм – влияние поверхностного натяжения воды практически отсутствует.

Проведено было 3 серии по 6 экспериментов в каждой серии по вышеизложенной схеме.

Камеральная обработка материалов состояла в расчете выхода различных фракций рудной массы для каждой заходки.

Каждая заходка получила геометрическую привязку к узловым точкам станда, что позволило закоординировать положение заходок и результатов ситового анализа.

Основные выводы по результатам экспериментальных исследований сводятся к следующему:

- при отсыпке дробленого материала на горизонтальную либо на наклонную плоскость происходит установление угла естественного откоса, который характерен только для пород определенной крупности и влажности и который не зависит от способа формирования насыпи (рис.2.3). При этом аналитическая зависимость прогнозирует результат натурных измерений с погрешностью не более 3,5%;

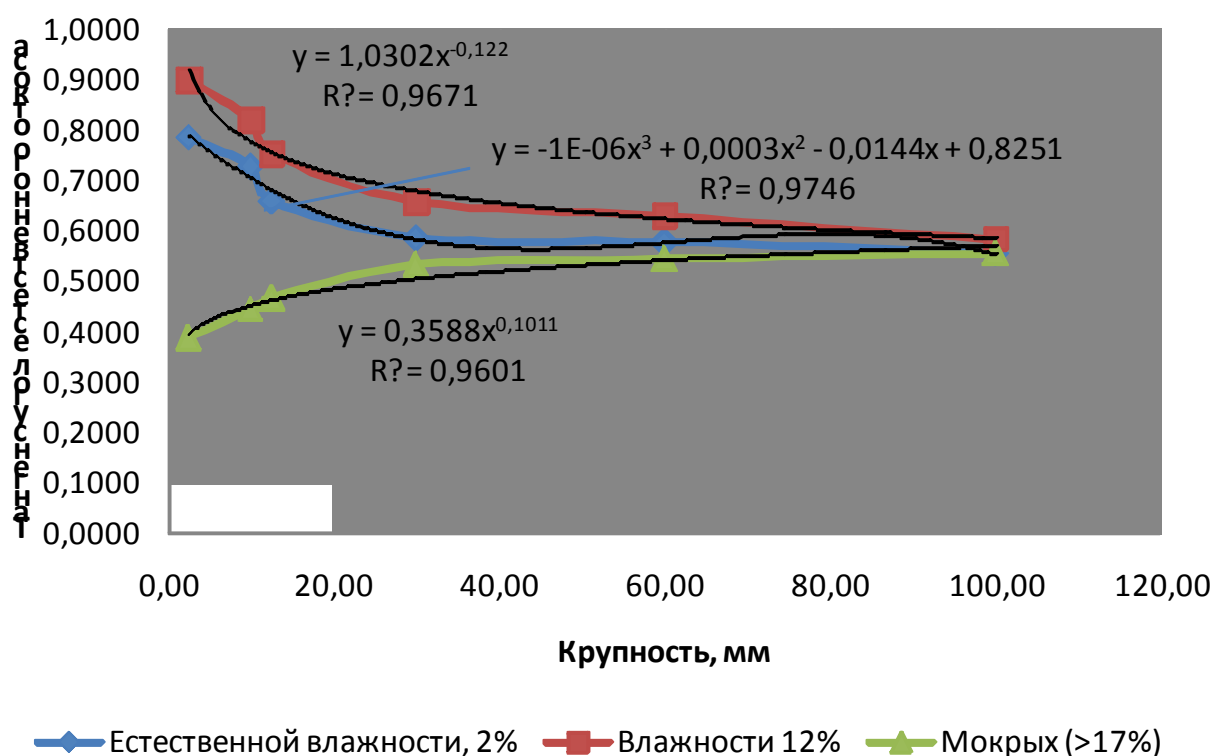


Рис. 2.3. Изменение угла естественного откоса штабеля от его гранулометрического состава и влажности.

- при отсыпке штабеля происходит перераспределение масс по крупности материала. В верхней части штабеля доминирует мелкая фракция, в нижней части – крупная. При этом более качественное разделение (сегрегация) наблюдается при меньшей производительности подачи исходного материала на разгрузку;

- в поперечном сечении штабеля выделяются три зоны формирования его внутренней структуры. Первая прилегает непосредственно к пионерной насыпи и ограничивается поверхностью с углом естественного откоса. Вторая занимает основной объем штабеля и характеризуется достаточно стабильным, устоявшимся соотношением масс различных фракций. Третья зона отсыпки непосредственно прилегает к поверхности штабеля;

- распределение масс по крупности на поверхности отсыпки (третья зона) значительно от-

личается от распределения масс внутри штабеля (вторая зона);

- распределение масс по крупности во второй зоне (средняя часть штабеля) практически не отличается от распределения масс исходного материала;

- отмечается закономерность: отсыпка производится наклонными слоями, а распределение масс по крупности формирует слои, параллельные основанию штабеля. Особенно это наглядно проявляется для крупной и мелкой фракций;

- при наличии зависимости качества сырья от крупности материала общий характер изменения грансостава внутри тела штабеля определяет характер изменения содержаний контролируемых показателей и внутренней структуры штабеля;

- поверхность откоса имеет определенную кривизну, которая определяется как распределением масс по крупности в результате сегрегации, так и влажностью слагающих пород. Зависимость угла естественного откоса от крупности и влажности горной массы представлена на рис. 2.3.

Кривизна поверхности откоса яруса высотой 25м, на которой происходит гравитационная сегрегация рыхлых пород (некондиционные известняки), представлена на рис. 2.4. При этом имеет место отклонение в подсчете объемов заскладированных пород для указанной на рисунке области: для пород естественной влажности – увеличение на 6,2%; для влажных – уменьшение на 3,3%; для мокрых – увеличение на 22,0%.

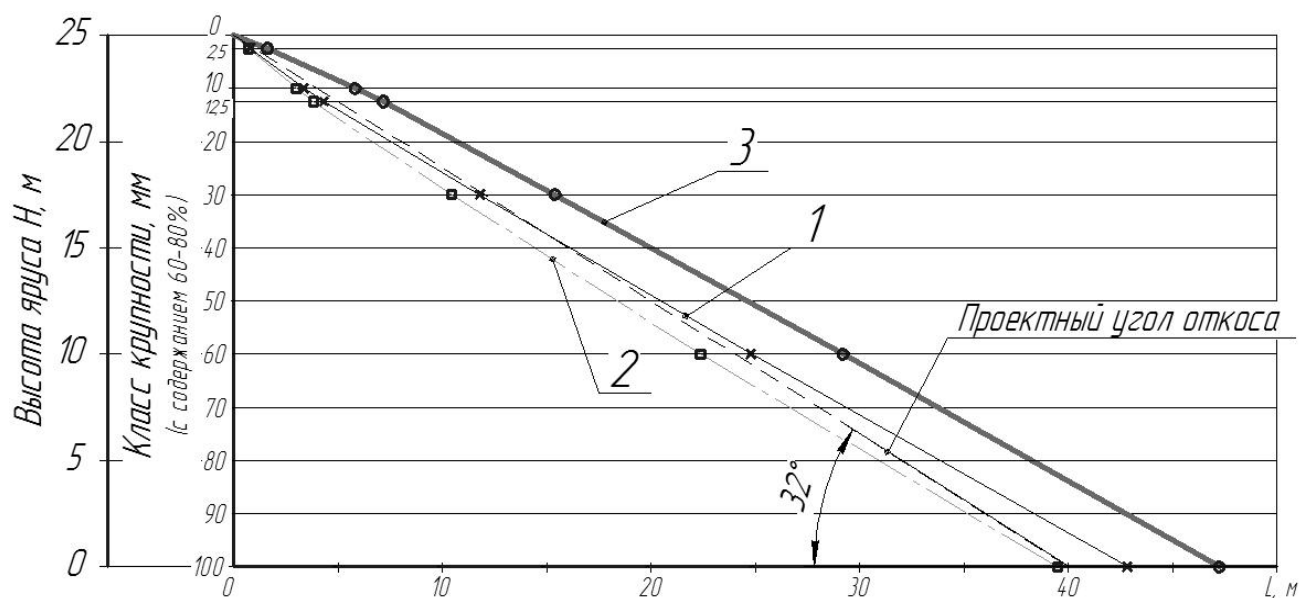


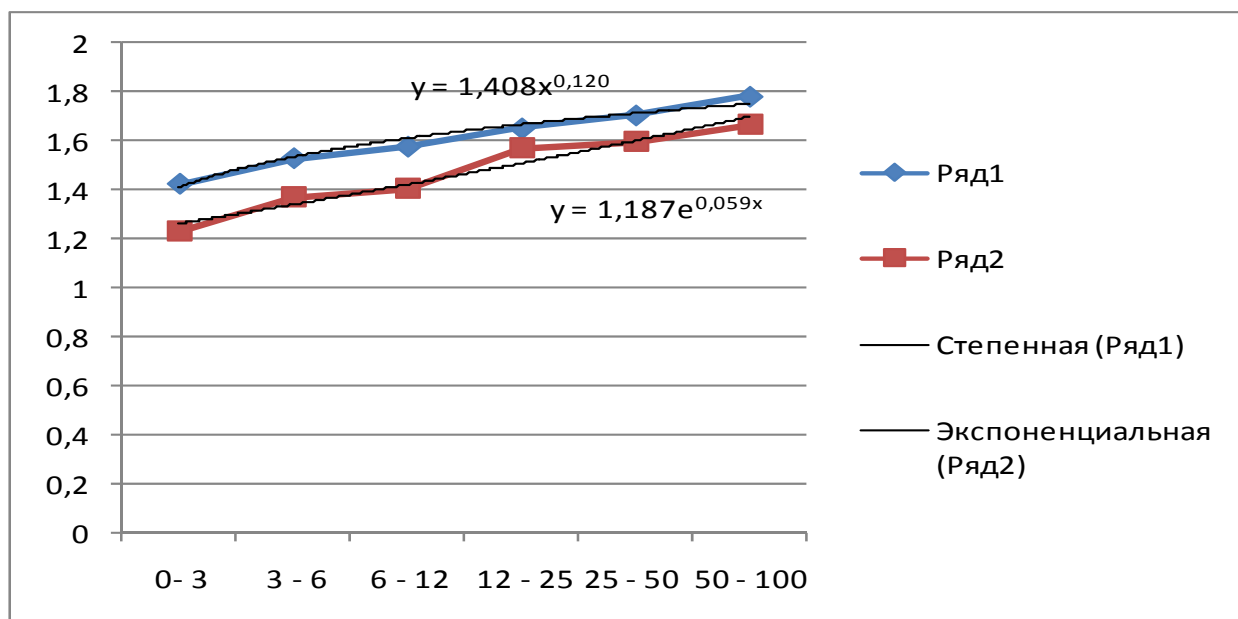
Рис. 2.4 Форма откосов в зависимости от грансостава и влажности образующих слоев

- внутреннюю структуру штабеля можно рассматривать как слоевую, параллельную основанию отсыпки. Принципиальное положение состоит в том, что плотность укладки материала в штабеле неравномерная, это приводит к «пятнистой» структуре массива и образованию особых внутренних зон, то есть зон с пониженной плотностью укладки. Наименьшая плотность укладки наблюдается в нижней передовой области штабеля, которая соприкасается с основанием отсыпки.

Изучение распределения кусковатости по откосу отвалов на карьерах ЧАО «ДФДК» [7] согласуется с результатами эксперимента (рис. 2.3) по моделированию процесса отвалообразования с составом подобным взорванной горной массы (табл. 2.1).

Для рассматриваемых классов крупности Еленовского месторождения известняков и доломитов была получена зависимость между коэффициентом разрыхления породы и средним размером куска в соответствующем слое штабеля (рис.2.5).

Полученная аналитическая зависимость характерна и для условий железорудных месторождений [5, 8, 9], что позволяет надеяться на применимость соотношения для более широкого спектра условий разработки рудных и нерудных месторождений.



Ри

с. 2.5. Зависимость коэффициента разрыхления породы от значения d_{cp} штабеля породы

Список литературы

1. Фисенко Г.Л. Устойчивость бортов карьеров и отвалов.- М.: Недра, 1965. - 336 с.
2. Лаптев Ю.В., Гальянов А.В. Теоретические основы процесса сегрегации горной массы//Геотехнические проблемы комплексного освоения недр – Сб. науч. тр./ИГД УрО РАН. – Вып. 2(9). Екатеринбург,2004. – 463 с. – С.245-258.
3. Гальянов А.В., Лаптев Ю.В., Ковалев М.Н. Рудоподготовка на карьерах.– Екатеринбург: ИГД УрО РАН, 1999. – 421 с.
4. Зенков Р.Л. Механика насыпных грузов. М.: Машиностроение, 1964. – 280 с.
5. Кустов В.В., Пчелкин Г.Д. О проблеме выбора технологий формирования и последующей разработки техногенного месторождения с учетом сегрегации горных пород. - Материалы международной конференции «Форум горняков – 2011». – 2011. – с. 99 – 104.
6. Кустов В.В., Пчёлкин Г.Д., О математическом моделировании процесса сегрегации горной массы при формировании конусообразного объекта. - Metallургическая и горная промышленность. – 2009. - №1. – с. 96-101.
7. Кустов В.В., Пчелкин Г.Д. Использование сегрегации при разработке техногенных месторождений с целью повышения качества продукции. – Материалы международной конференции «Форум горняков – 2009». – 2009. – с. 171 – 175.
8. Вилкул Ю.Г., Слободянюк В.К., Аралкин А.С. Экспериментальные исследования гравитационной сегрегации скальной горной массы. – Разработка рудных месторождений. – 2006. – вып. 1(90).
9. Вилкул Ю.Г., Слободянюк В.К., Аралкин А.С. Моделирование и исследование гравитационной сегрегации скальной горной массы в процессе отвалообразования с применением методов планирования экспериментов. – Разработка рудных месторождений. – 2007. – вып. 91.