

лило получить и обосновать новые данные о напряженном состоянии углевмещающей толщи.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Куш О.А. Разрывная тектоника и прогноз нарушенности шахтных полей юго-западного Донбасса: Автореф. дисс. ... канд. геол.-мин. наук: 04.00.16 / ДГИ. – Днепропетровск, 1987. – 16 с.
2. Результаты определения величины и направления главных напряжений в углепородном массиве пласта I<sub>1</sub> шахты им. А.Ф. Засядько методом локального разрыва (ЛГР) / Кулинич В.С., Перепелица В.Г., Ефремов И.А. и др. // Геотехн. механика: Межвед. сб. научн. трудов ИГТМ НАН Украины – Днепропетровск, 2003. – Вып. №44. – С. 156 – 164.
3. Влияние тектоники на напряженное состояние углепородного массива в Центральном районе Донбасса / Лукинов В.В., Пимоненко Л.И., Кулинич В.С., Кулинич С.В. // Геотехническая механика: Межвед. сб. научн. трудов ИГТМ НАН Украины. - К. - Днепропетровск, 2000. - Вып. 21. - С. 48-52.
4. Чебаненко И.И. Теоретические аспекты тектонической делимости земной коры. – К.: Наукова думка. – 1997. – С. 1 – 81.
5. А. Е. Шайдегер. Основы геодинамики. – М.: Недра. – 1987. – 234 с.
6. Батугин А.С., Батугина И.М. Изменение напряженного состояния нетронутого массива горных пород в пространстве и во времени // Напряженное состояние земной коры. – М.: Наука, 1973. – С. 148-157.
7. Семинский К.Ж., Адамович А.Н. Значение переиндексации осей главных нормальных напряжений при структурообразовании в различных зонах земной коры // Геодинамика и напряженное состояние недр Земли. Новосибирск: РАН ИГД. – 2004. – С. 250 – 255.
8. Ярошевский В. Тектоника разрывов и складок – М.: Недра, 1981. – 245 с.
9. Кратенко Л.Я. Исследование геологических условий формирования локальных выбросоопасных зон на пологопадающих угольных пластах Донбасса: Дисс. ... канд. геол.-мин. наук: 04.00.16 / ДГИ. – Днепропетровск, 1976. – 220 с.
10. Корчемагин В.А. Геологическая структура и поля напряжений в связи с эволюцией эндогенных режимов Донбасса: Автореф. дисс. ... докт. геол.-мин. наук / М., 1984. – 48 с.

УДК 622.753.001.57:621.928.028.1

Шевченко Г.А., Шевченко В.Г.  
(ИГТМ НАН Украины)

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДИССИПАЦИИ ЭНЕРГИИ В ПРОЦЕССЕ РАЗДЕЛЕНИЯ СЫПУЧЕГО МАТЕРИАЛА В ЖИДКОСТИ

Приведено результати досліджень процесу розподілу шару кам'яного вугілля у водяному середовищі. Викладено методику визначення дисипації енергії в процесі розподілу сипучого матеріалу в рідині. Встановлено залежності режимних параметрів процесу від коефіцієнта, що враховує розсіювання енергії в шарі матеріалу.

### DEFINITION OF ENERGY DISSIPATION IN A SEPARATION PROCESS OF BULK MATERIAL IN FLUID

The outcomes of researches of a separation process of a layer of hard coal in a water environment are adduced. The procedure of definition of energy dissipation in a separation process of bulk material in fluid is set up. The relations of regime parameters of process to a coefficient which is taking into account of energy dissipation in a layer of bulk material are established.

Разделение сыпучего материала по плотности и крупности частиц находит широкое практическое применение в различных отраслях народного хозяйства. Наибольшее распространение он получил при обогащении россыпных полезных ископаемых в жидкой среде. Так, в углеперерабатывающей промышленности повсеместно применяются технологические схемы обогащения минерального сырья с использованием отсадочных машин, вибрационных грохотов, мо-

ечных желобов и пр., в основу которых положен эффект распределения частиц материала по плотности и крупности по высоте слоя под воздействием вибрации в зависимости от их фракционного и гранулометрического состава. Однако имеющиеся в данной области научные прикладные методы, модели, методики зачастую ограничиваются идеализированным описанием данного процесса и не позволяют в полной мере изучить его специфику, что в конечном итоге приводит к погрешностям при определении рациональных параметров данного процесса в расчетах конструкций машин и аппаратов для переработки минерального сырья. Важной научно-прикладной задачей также является учет и исследование рассеивания механической энергии в процессе разделения слоя материала.

С целью определения диссипации энергии и установления закономерностей изменения режимных параметров от ее величины проведен комплекс исследований процесса разделения слоя частиц каменного угля в водной среде. Исследования проводились в два этапа. Первый этап включал ряд экспериментальных исследований процесса и заключался в установлении закономерностей изменения показателей эффективности процесса (времени и средней скорости разделения) от режимных параметров – амплитуды и частоты колебаний. Вторым этапом включал аналитические исследования процесса разделения частиц каменного угля на модели [1]. Разработанная модель учитывает влияние на процесс разделения гранулометрического и фракционного состава материала, а также затухание амплитуды колебаний по высоте слоя. Всю совокупность физико-механических свойств разделяемого материала, влияющих на затухание амплитуды, было принято учитывать через интегральный коэффициент  $r$  [2]. Проведенные ранее исследования позволили установить зависимости показателей эффективности процесса от данного коэффициента. Результаты указали на линейный характер данных зависимостей. Определение значений коэффициента  $r$  возможно осуществить путем сопоставления результатов экспериментальных исследований с подобными аналитическими исследованиями для различного рода сыпучих материалов.

Данные по гранулометрическому и фракционному составу исследуемого материала (слоя частиц каменного угля марок ДГр и Гр) представлены в табл. 1 и 2.

Таблица 1 – Результаты ситового и фракционного анализа угля марки ДГр

Класс крупности, мм	0-0,5	0,5-1	1-3	3-6	6-13	13-25	25-50	50-100	100-150	Всего
Выход, %	9,2	11,4	12,7	13,2	15,8	17,1	6,8	7,2	6,6	100
Зольность, %	43,0	43,9	44,2	44,2	43,7	42,6	46,4	42,5	43,6	43,9

Таблица 2 – Результаты ситового и фракционного анализа угля марки Гр

Класс крупности, мм	0-0,5	0,5-1	1-6	6-10	10-20	20-40	40-100	100-150	Всего
Выход, %	8,3	12,0	14,4	15,6	16,1	18,2	11,0	4,4	100
Зольность, %	44,8	45,6	41,4	39,1	32,29	27,15	39,27	40,6	41,8

В табл. 3 приведены исходные параметры процесса.

Таблица 3 – Исходные параметры процесса

Наименование параметра (обозначение)	Ед. изм.	Значение	
		Эксперимент	Расчет на модели
1. Высота слоя разделяемого материала, $H_{сг}$	м	0,3	0,3
2. Точность разделения, $dRT$	кг/м <sup>3</sup>	150	150
3. Угол направления вибраций, $\beta$	град	90	89
4. Угол наклона плоскости к горизонту, $\alpha$	град	0	0
5. Амплитуда колебаний, $A$	м	0,008; 0,010; 0,013	0,008; 0,010; 0,013
6. Частота колебаний, $\omega$	рад/с	25,12; 28,26; 31,4	25,12; 28,26; 31,4

Значения параметров приняты исходя из конструктивных параметров используемых в практике вибромашин и результатов экспериментальных исследований данного процесса [3].

В табл. 4 приведены результаты экспериментальных исследований процесса: изменение средней скорости разделения частиц угля при различных амплитудах и частотах колебаний.

Методика определения коэффициента, учитывающего физико-механические свойства разделяемого материала, влияющие на затухание амплитуды по высоте слоя, заключалась в следующем:

- задание диапазона варьирования коэффициента  $r$ ;
- проведение расчетов на модели для различных амплитуд и частот колебаний и определение значений средней скорости разделения слоя материала при изменении коэффициента  $r$ ;
- определение интервала расчетной средней скорости разделения, в который попадает экспериментальное значение данного выходного параметра;
- определение значения коэффициента  $r$  для заданных амплитуд и частот колебаний.

Таблица 4 – Экспериментальные значения средней скорости разделения частиц углей

Параметры режима колебаний		Средняя скорость разделения частиц угля, м/с	
Амплитуда, м	Частота, рад/с	Уголь ДГр	Уголь Гр
0,008	25,12	0,0025	0,0025
	28,26	0,004	0,004
	31,4	0,0052	0,0052
0,01	25,12	0,0048	0,0052
	28,26	0,0063	0,0067
	31,4	0,0067	0,0073
0,013	25,12	0,0077	0,0079
	28,26	0,0079	0,0084
	31,4	0,0089	0,0085

Шаг варьирования коэффициента  $\gamma$  задавался таким, чтобы средняя скорость разделения в данном диапазоне не изменялась более чем на 20 %, что является приемлемым для проведения инженерных исследований. При линейном характере зависимости средней скорости разделения частиц каменного угля от коэффициента  $\gamma$  для различных амплитуд и частот колебаний шаг его варьирования составил 0,2.

В табл. 5 приведены расчетные значения средней скорости разделения частиц углей при изменении коэффициента  $\gamma$  для различных амплитуд и частот колебаний. Расчет прекращался при выполнении условия попадания экспериментального значения средней скорости разделения в  $i$ -й интервал ее расчетных значений  $V_{ср,р,i} > V_{ср,р,эксп.} > V_{ср,р,i+1}$ .

Следующий этап заключался в определении значения коэффициента  $\gamma$ . В связи с линейным характером зависимости средней скорости разделения от коэффициента  $\gamma$  решался линейный сплайн, описывающий поведение функции для того диапазона, в который попадет экспериментальные значения средней скорости разделения. Таким образом, вычисление коэффициента  $\gamma$  проводилось по формуле определения координат точки, лежащей на прямой:

$$\gamma = \gamma_{i+1} + \frac{(\gamma_i - \gamma_{i+1})(V_{ср,р,эксп.} - V_{ср,р,i+1})}{V_{ср,р,i} - V_{ср,р,i+1}},$$

где  $V_{ср,р,i}$  и  $V_{ср,р,i+1}$  - значения средней скорости разделения для  $i$ -го интервала, в который попадет экспериментальное значение данного параметра  $V_{ср,р,эксп.}$ ;  $\gamma_i$  и  $\gamma_{i+1}$  - значения коэффициента, при которых достигаются значения средней скорости разделения  $V_{ср,р,i}$  и  $V_{ср,р,i+1}$ .

Значения коэффициента  $\gamma$  при различных амплитудах и частотах колебаний для разных марок угля приведены в табл. 6.

Зависимости коэффициента  $\gamma$  от частоты колебаний для различных марок угля при различной амплитуде колебаний приведена на рис. 1. Результаты аппроксимации указывают на линейный характер данных зависимостей: так, с увеличением частоты колебаний значение величины рассеивания энергии в слое угля линейно возрастает.

Зависимость коэффициента  $\gamma$  от амплитуды колебаний для различных марок угля при различной частоте колебаний приведена на рис. 2. Результаты аппроксимации указывают на линейную зависимость величины рассеивания энергии от амплитуды колебаний: с увеличением амплитуды величина рассеивания энергии в слое возрастает.

На практике при оценке эффективности процесса разделения целесообразно пользоваться величиной, объединяющей эти два режимные параметра. В качестве таковой могут выступать скорости и ускорения колебаний, соответственно первые и второй производной от гармонически колеблющейся величины  $x = A \sin \omega t$ :  $\dot{x} = A\omega \cos \omega t$  и  $\ddot{x} = A\omega^2 \sin \omega t$ .

Таблица 5 – Расчетные значения средней скорости разделения частиц углей при изменении коэффициента  $r$  для различных амплитуд и частот колебаний

$r$	Средняя скорость разделения частиц угля, м/с								
	$A=0,008$ $\omega=25,12$	$A=0,008$ $8\omega=28,26$	$A=0,008$ $8\omega=31,4$	$A=0,01$ $\omega=25,12$	$A=0,01$ $\omega=28,26$	$A=0,01$ $\omega=31,4$	$A=0,01$ $3\omega=25,12$	$A=0,01$ $3\omega=28,26$	$A=0,01$ $3\omega=31,4$
0	0,0032	0,0067	0,0081	0,0066	0,0088	0,0107	0,0089	0,0103	0,0100
0,2	0,0019	0,0064	0,0079	0,0067	0,0080	0,0100	0,0086	0,0114	0,0108
0,4	0,0011	0,0060	0,0079	0,0062	0,0083	0,0106	0,0087	0,0110	0,0107
0,6	0,0006	0,0061	0,0078	0,0060	0,0078	0,0100	0,0084	0,0106	0,0107
0,8	-	0,0059	0,0078	0,0061	0,0077	0,0103	0,0081	0,0104	0,0109
1,0	-	0,0045	0,0070	0,0044	0,0076	0,0097	0,0082	0,0101	0,0108
1,2	-	0,0032	0,0067	-	0,0072	0,0093	0,0077	0,0102	0,0117
1,4	-	-	0,0065	-	0,0068	0,0091	0,0072	0,0098	0,0107
1,6	-	-	0,0060	-	0,0068	0,0088	-	0,0095	0,0101
1,8	-	-	0,0051	-	0,0057	0,0083	-	0,0090	0,0107
2,0	-	-	-	-	-	0,0082	-	0,0085	0,0104
2,2	-	-	-	-	-	0,0078	-	0,0086	0,0106
2,4	-	-	-	-	-	0,0075	-	0,0082	0,0095
2,6	-	-	-	-	-	0,0059	-	0,0081	0,0084
2,8	-	-	-	-	-	0,0051	-	0,0069	0,0092
3,0	-	-	-	-	-	0,0042	-	-	0,0095
3,2	-	-	-	-	-	0,0031	-	-	0,0086
3,4	-	-	-	-	-	-	-	-	0,0083

Таблица 6 – Значения коэффициента  $r$  при различных амплитудах и частотах колебаний для разных марок угля

$A, м$	$\omega, рад/с$	$r$	
		ДГр	Гр
0,008	25,12	0,114763	0,114763
0,008	28,26	1,083451	1,083451
0,008	31,4	1,783013	1,783013
0,01	25,12	0,95199	0,9046
0,01	28,26	1,70314	1,6265
0,01	31,4	2,50405	2,43086
0,013	25,12	1,21722	1,13031
0,013	28,26	2,63811	2,31788
0,013	31,4	3,13795	3,27774

Зависимость коэффициента  $r$  от ускорения колебаний для различных марок угля приведены на рис. 3. Анализ результатов также указывает на линейный характер зависимостей, причем зависимости для углей марок ДГр и Гр существенно не отличаются. Рассеивание энергии в слое каменного угля существенно возрастает с изменением ускорения колебаний в диапазонах, характерных для используемых в практике вибромашин.

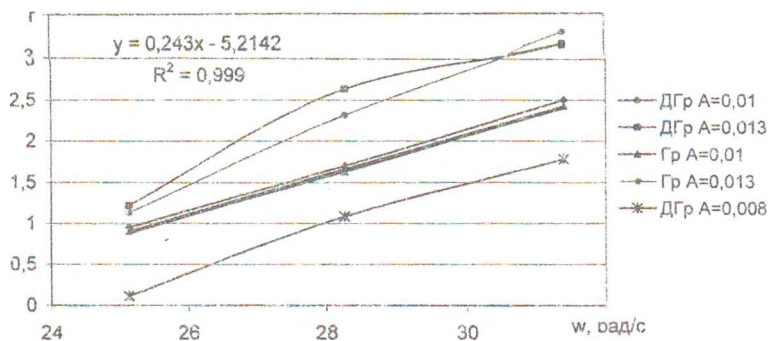


Рис. 1 – Зависимость коэффициента  $\gamma$  от частоты колебаний для различных марок угля при различной амплитуде колебаний

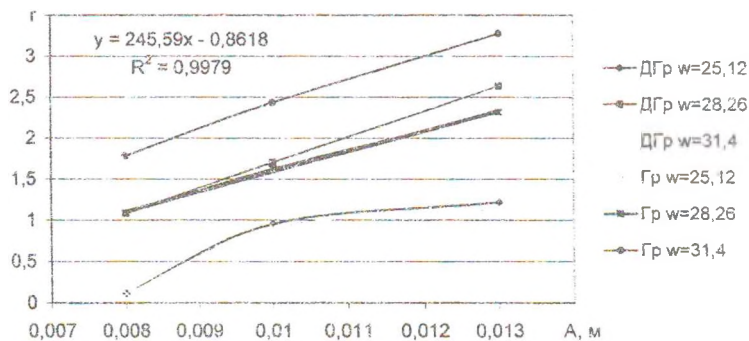


Рис. 2 – Зависимость коэффициента  $\gamma$  от амплитуды колебаний для различных марок угля при различной частоте колебаний

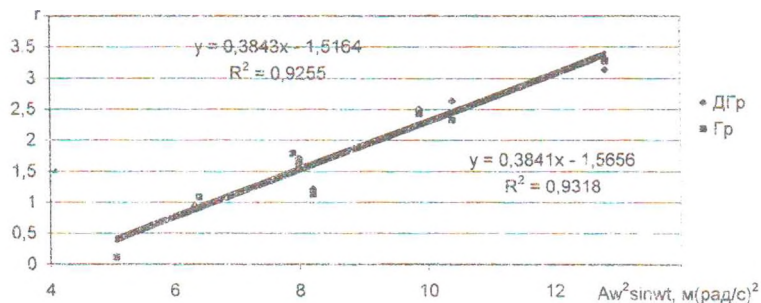


Рис. 3 – Зависимость коэффициента  $\gamma$  от ускорения колебаний для различных марок угля

Аналитические выражения, аппроксимирующие полученные зависимости:  $r = 0,3843A\omega^2 \sin \omega t - 1,5164$ ,  $r = 0,3841A\omega^2 \sin \omega t - 1,5656$  целесообразно использовать для определения величины диссипации энергии в слое каменного угля марок ДГр и Гр при его разделении по плотности для различных режимных параметров данного процесса, а изложенная выше методика может быть применена для определения диссипации энергии в процессе разделения других видов сыпучих материалов.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шевченко Г.А., Шевченко В.Г. Разработка и реализация математической имитационной модели вибротранспортирования и разделения слоя сыпучего материала в жидкой среде // Сб. научн. тр. НГУ. – Днепропетровск: РИК НГУ. - 2003. - № 17, том 1. – С. 611 – 617.
2. Шевченко Г.А., Шевченко В.Г. Аналитические исследования процесса вибротранспортирования и разделения сыпучих материалов в жидкости // Геотехническая механика: Межвед. сб. научн. тр. ИГТМ НАН Украины. – Днепропетровск, 2003. – Вып. 47. – С. 72-86.
3. Шевченко Г.А. О выборе параметров колебаний вибромашин при транспортировании материалов в жидких средах // Геотехническая механика: Межвед. сб. научн. тр. ИГТМ НАН Украины. – Днепропетровск. 1999. – Вып. 16. – С. 98-106.

УДК 662.7:552.57:622.234.5

А.В. Бурчак, Д.П. Силин,  
В.К. Слободяникова  
(ИГТМ НАН Украины)

### ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ГИДРОДИНАМИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА УГОЛЬНЫЙ ПЛАСТ НА МИКРОУРОВНЕ

В роботі розглянуті можливості оцінки стану вугільної речовини на мікро рівні після гідродинамічного впливу за допомогою метода ЕПР. Доведено важливість подібних досліджень для вирішення проблем видобутку енергоносіїв. Запропоновано ряд параметрів, що дозволяють кількісно оцінити зміни в структурі вугільної речовини.

### RESEARCH OF RESULT LEADING OF HYDRODYNAMICS INFLUENCE ON THE COAL - BED AT THE MICROLEVEL

Possibilities of appraise the state of coal substance on the micro level after the hydrodynamics influence were examining in the work. It was demonstration the importance of similar researches to decide the problems of extraction the coal and gas.

Дефицит энергоносителей на Украине делает все более актуальными задачи по интенсификации добычи угля и газа, а также утилизации шахтного метана. Важной проблемой также является дегазация угольных пластов - как профилактическое мероприятие по снижению газообильности и предотвращению внезапных выбросов угля и газа при ведении горных работ.

Перспективным способом интенсификации газовыделения из газонасыщенного породно-угольного массива является гидродинамическое воздействие на угольный пласт через скважины, пробуренные, как с подземных выработок, так и с поверхности Земли. При гидродинамическом воздействии в угольном мас-