

Рисунок 2 – Мікрорельєф ділянки поверхні алмазоподібного покриття (а) та мікропрофіль шару алмазоподібне покриття – основний матеріал (б). Зображення отримано на приладі NT-206V.

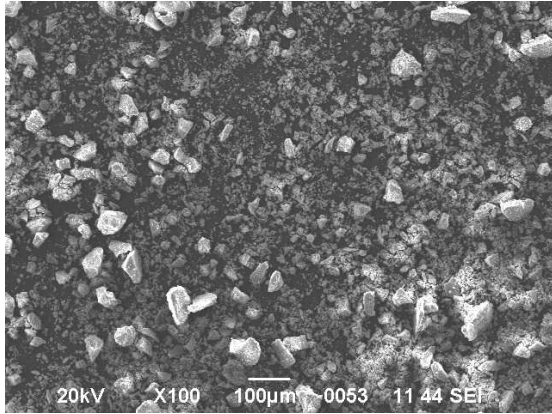


Рисунок 3 – Поверхня зразка зі сформованими на ній алмазними структурами. Формування відбувалося на бінарній структурі Cu-C. Зображення отримано на приладі ZEISS ULTRA-55.

Утворення та зростання таких алмазних структур носило неупорядкований характер. Це підтверджує той факт, що температура не є основним фактором утворення та зростання цих структур, а лише виступає умовою їхнього виникнення на вуглецевому покритті.

17

В той же час, осадження алмазоподібного покриття за температури зразка меншої за 780 К відбувається з утворенням мідно-графітової суміші, яка має адгезійну міцність порядку 16 МПа (адгезійна міцність алмазоподібного покриття Cu-C в середньому становить 46 МПа). Подальше зниження температури зразка до значень менших 550 К в процесі термовакуумного осадження призводить до формування на ньому покриття аморфної фази Cu-C, що перешкоджає утворенню зерен основної фази алмазоподібного покриття (рисунки 4).

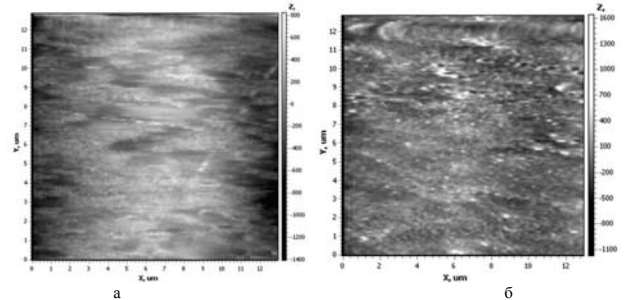


Рисунок 4 – Поверхня зразка зі сформованим на ній аморфним покриттям Cu-C (а) та Cu-C-Cu-C (б). Зображення отримано на приладі NT-206 V.

Як видно із зображення (рисунок 4) поверхні зразків зі сформованими на них покриттями (як за схемою Cu (85%)-C (15%), так і за схемою Cu (50%)-C (15%)-Cu (15%)-C (15%)), при утворенні покриттів за умов докритичних температур не виникають зародки кристалітів, що є основою алмазоподібного покриття, а саме, утворюване таким чином покриття є аморфним, має низьку адгезійну міцність (~6...8 МПа), що не забезпечує усунення мікро- та нанодфектів поверхонь інструменту для прецизійної мікрообробки від дії зовнішніх силових навантажень та вібрацій, що значно погіршує техніко-експлуатаційні характеристики цих виробів.

Висновки і перспективи розвитку. Таким чином, проведені дослідження дозволили встановити особливості формування наноструктурних покриттів алмазоподібних структур в залежності від складу нанесеного на них матеріалу, його геометричних характеристик та хімічної чистоти матеріалу, що доводить їх істотний вплив на формування тонких алмазоподібних наноструктур термічним осадженням у вакуумі.

18

Встановлено, що критична температура зразка на якому формувалося покриття складає 780 К. Вище зазначеної температури утворюється система Cu-C алмазної модифікації, тоді, як при меншій температурі утворюється мідно-графітова суміш. Також встановлено, що при температурі зразка меншій за 550 К формуються аморфні покриття Cu-C, які не забезпечують усунення мікро- та нанодфектів поверхонь від дії зовнішніх силових навантажень та вібрацій.

Отримані результати планується використати для отримання алмазоподібних структур при виготовленні інструментальної бази точного приладобудування, машинобудування, в теплоенергетиці, авіакосмічній техніці.

Список використаної літератури: 1. Верещака, А. С. Режущие инструменты с износостойкими покрытиями / А. С. Верещака, П. П.Третьяков. – М.: Машиностроение, 1986. – 192 с. 2. Белый А.В., Карпенко Г.Д., Мышкин Н.К. Структура и методы формирования износостойких поверхностных слоев. – Москва: Машиностроение, 1991. – 208 с. 3. Самойлович М.И., Белянин А.Ф. Алмазные и алмазоподобные углеродные пленки: формирование и строение// Алмазные пленки и пленки родственных материалов/ Сб. докладов 15-го Междунар. симпозиума «Тонкие пленки в оптике и электронике». – Харьков: НИЦ ХФТИ, «Константа», 2003. – С. 6. 4. Машев Ю.П., Ляшенко Е.П., Шевчук С.Л., Кузнецов А.В. Исследование оптических и фотоэмиссионных свойств алмазоподобных пленок, полученных осаждением из пучков ионов// Алмазные пленки и пленки родственных материалов/ Сб. докладов 12-го Междунар. симпозиума «Тонкие пленки в электронике». – Харьков: НИЦ «Контраст», 2001. – С. 166. 5. Черепанов В.А., Золкин А.С., Колесов Б.А., Мурзахметов К.Т., Семёнов В.И. Алмазоподобные гранулированные пленки на кремнии, полученные при горении ацетилена // <http://www.nsu.ru/cgi-bin/ps?fname=http://src.nsu.ru/win/journals/physstud/articles/paper5.html> (Россия). 6. Суздальцев С.Ю., Яфаров Р.К., Котина Н.М. Кинетика роста и микротопографических измерений параметров и свойств алмазоподобных пленок// Сб. докладов XII междунар. симпозиума «Тонкие пленки в электронике». – Харьков: НИЦ «Контраст», 2001. – С. 153. 7. [Дубровская Г.И.] Котляр А.В., Божко Н.И., Курilenko П.И., Бондаренко М.А., Верещанова Е.В. Особенности топографии поверхности тонких оксидных покрытий на стекле после электронно-лучевой обработки // Тезисы докладов XXII Российской конференции по электронной микроскопии ЭМ'2008, 2-6 июня 2008, Черногоровка, С.129. 8. Bondarenko M.A. Study of forming terms thin diamond similar nanostructures thermal vacuum-depositing / M.A.Bondarenko [etс] // Вісник Черкаського державного технологічного університету, Черкаси: ЧДТУ, 2009 (специальний випуск). – С.114-116. 9. Дубровська Г.М., Канашиевич Г.В., Божко Н.І., Бондаренко М.О., Котляр О.В., Руко А.К.М. Приклади застосування фізичних методів дослідження структури поверхні // Під ред. Дубровської Г.М., вид-во Сільхет: Шобуж Біпони, Удоун Офсет Принтерс, 2007. – 248 с.

Поступила в редакцію 12.05.2012

УДК 73, 75

А.И. Бажал, д-р техн. наук, Харьков, Украина, В.М. Кучеровский, канд. техн. наук, А.М. Барак, Москва, Россия, А.А. Бажал, Кривой Рог, Украина, Ант.А. Бажал, Харьков, Украина, С.Г. Серебрянникова, Москва, Россия.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ВОЛНОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И ОПЫТ ИХ ПРИМЕНЕНИЯ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ СВОЙСТВАМИ ТВЕРДЫХ СТРУКТУР

В статті приведені основні закономірності розповсюдження хвиль в пористих колекторах і їх вплив на масоперенос рідинних середовищ в капілярних структурах. Приведені кількісні оцінки хвильової інтенсифікації капілярного масопереносу. Викладені результати промислового використання хвиль при свердловинному видобутку корисних копалин. Описана фізика процесів, приведені ілюстрації.

В статье приведены основные закономерности распространения волн в пористых коллекторах и их влияние на массоперенос текучих сред в капиллярных структурах. Приведены количественные оценки волновой интенсификации капиллярного массопереноса. Изложены результаты промышленного применения волн при скважинной добыче полезных ископаемых. Описана физика процессов, приведены иллюстрации.

The article outlines the main factors of wave transition in porous rocks and the way they influence transition of liquid masses contained in capillary structures of such rocks. Quantitative estimation of wave based intensification of capillary mass transition is made. Outlined result of industrial use of wave in well based extraction of natural reserves. Outlined physical principals of the processes illustrated with examples.

С помощью волн простыми техническими средствами обеспечивается получение очень высоких значений локально сосредоточенного бегущего перепада (градиента) давлений. Несложным оборудованием можно получить перепад от 1 000 до 10 000 атм. [1]

$$P_{\text{волн}} = \rho av,$$

где: $P_{\text{волн}}$ – бегущий перепад (градиент) волнового давления;

a – скорость волны;

ρ – плотность среды – волновода (например, водоносного коллектора);

v – скорость возмущения среды (любой быстропотекающий процесс).

С помощью бегущего градиента волнового давления обеспечивается дилатантное трещинообразование в расчетной призабойной зоне коллектора для повышения его абсолютной проницаемости. В основе этого явления лежит образование суперпозиции напряжений, обеспечивающих предельную неравномерность нагружения коллектора, которая обеспечивает дилатантное разуплотнение массива.

19

20

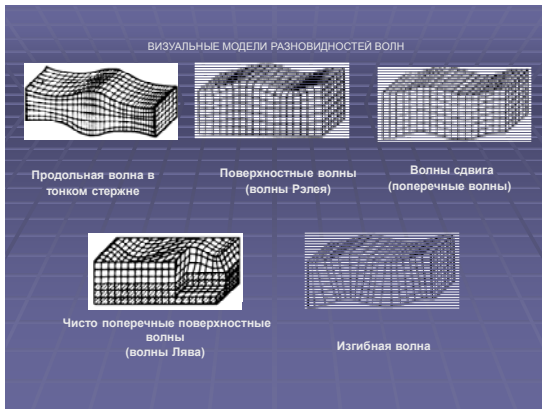


Рисунок 1 – Разновидности волн

По Биоту:

$$\sigma\phi = \sigma_0 - Pp;$$

$$Pp = \lambda \sigma_v ;$$

$$\lambda = 0,82 - 0,9,$$

где: $\sigma\phi$ – фактическое напряжение в массиве в зоне суперпозиции волн и статических нагрузок на месте разуплотнения в прискважинном пространстве;

σ_0 – напряжение в массиве без учета его пористости;

Pp – поровое давление в коллекторе;

σ_v – вертикальное (геостатическое) напряжение в коллекторе;

λ – коэффициент степени влияния жидкости на прочность горной породы.

Изменяя поровое давление в коллекторе, мы создаем совместно с волнами условия для дилатантного порообразования в коллекторе. В процессе дилатансии меняется структура породы (уменьшается ее плотность). Такие процессы всегда предшествуют землетрясениям и по изменению структуры породы прогнозируют землетрясения.

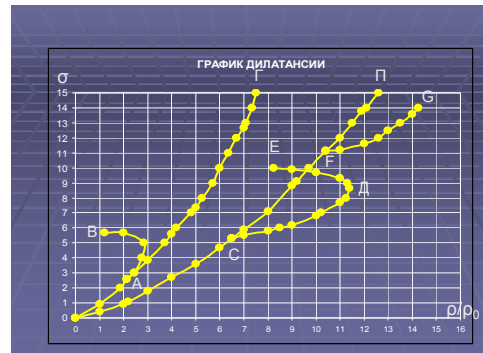


Рисунок 2 – Закономерности дилатантного разуплотнения массива

σ – напряжение сжатия горной породы

ρ – текущее значение плотности сжимаемой породы

ρ_0 – начальное значение плотности сжимаемой породы

ОГ – для монолитной горной породы

ОП – для пористой горной породы

А,В,С,Д,Е,Г,П,Г – точки изменения характера деформаций при неравномерном нагружении

При волновом нагружении коллектора под градиентом волнового давления будет находиться только та часть массива, которая охвачена волной. Это значит, что волновыми силами можно производить локальное повышение проницаемости, которое не будет выходить за пределы самого маломощного пласта [2].

Статический перепад (градиент) давления затухает в коллекторе на длине до 10м по радиусу от скважины. Дальше этого расстояния нет никаких рычагов воздействия на коллектор, кроме волнового бегущего перепада давления (градиента). Бегущий волновой перепад давления (градиент) распространяется по насыщенному коллектору независимо от его проницаемости на любые расчетные расстояния. При этом он осуществляет направленный дискретный массоперенос текучих сред в коллекторе, включая кольматант.

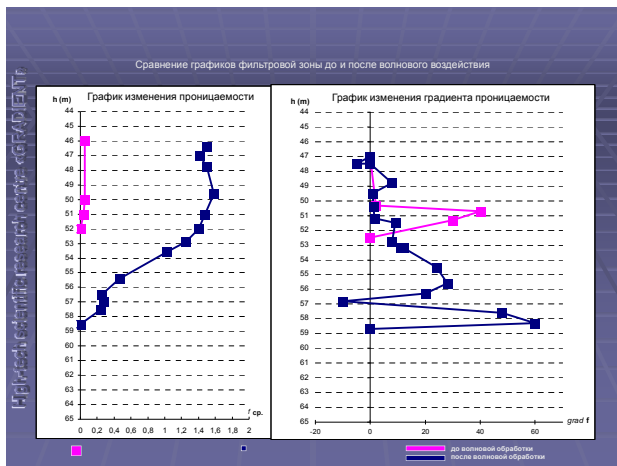


Рисунок 3 – Повышение проницаемости осадочных горных пород при волновом нагружении

Волны активируют жидкие и твердые структуры и позволяют управлять сорбционными и химическими процессами в коллекторе. От этих процессов зависит расколматация коллектора и, как следствие, количество добытой заземленной воды из коллектора. Соответственно коэффициент извлечения воды тоже увеличивается. Традиционно значение коэффициента извлечения нефти составляет 0,1 – 0,15 (до 0,3), воды – до 0,5 на больших глубинах, и до 0,7 – на малых глубинах.

Волны снижают поверхностное межфазное натяжение и уменьшают величину капиллярных сил.

Волны позволяют управлять процессом насыщения пористого коллектора (пропитки) и, таким путем, обеспечивать подвижность заземленных (похороненных) в пористых структурах жидкостей. Величину капиллярного давления определяют по формуле:

$$P = 2 \xi / r, \text{ где:}$$

P – капиллярное давление;

ξ – поверхностное натяжение жидкости;

r – радиус капилляра, например, для воды при $r = 0,01 \text{ мкм} = 10^{-8} \text{ м}$,

$\xi = 8 \cdot 10^{-2} \text{ Вт} \cdot \text{сек} / \text{м}^2$ $P = 160 \text{ атм}$, а при $r = 0,001 \text{ мкм}$, $P = 1600 \text{ атм}$.

Такие градиенты давления технически невозможно создать в скважине, а, значит, и невозможно с помощью статического давления обеспечить капиллярное движение воды в коллекторе. Это будет похороненная (потерянная) вода.

Поры размером 0,01 – 0,001 мкм составляют до (50 – 70)% общего порового объема. Статический перепад давления уменьшается радиально вглубь массива по экспоненте до нуля на глубине до 10 метров.

Таким образом, только бегущий волновой перепад давления позволяет обеспечить критическое насыщение, а значит и подвижность жидкости в капиллярной части коллектора, и, соответственно, повышать извлечение воды из коллектора, а в отработанных коллекторах доизвлекать ещё 30-50% заземленной (похороненной) воды в неподвижном состоянии.

Статический перепад давления на скважине (депрессия) способен обеспечить вектор перепада давления, направленный от скважины вглубь массива. Заземленная жидкость, при этом, будет двигаться от скважины в периферийные области массива. Волновой перепад давления может иметь и противоположное направление и обеспечивать сброс заземленной воды из капиллярной прискважинной зоны коллектора в скважину. Это исключительно эффективно для повышения дебитных характеристик скважин. Дальность действия бегущего волнового градиента давления достигает десятков метров, а в специально сконструированных устройствах она может достигать сотни метров и километров. Интенсивность затухания волны определяется по формуле:

$$PL = POe^{-\alpha L}; \text{ где:}$$

PL – давление в волне на расчетном расстоянии от скважины;

PO – давление в волне в скважине;

α – декремент затухания волны; L – расстояние, на котором измеряется волновое давление.

Волновое давление понижает поверхностное натяжение жидкости и обеспечивает ее десорбцию в порах. Это способствует появлению свободного объема жидкости в порах и снижает величину потребного статического градиента давления, необходимого для передвижения воды в капиллярных коллекторах.

Статический перепад давления действует во все стороны одинаково. Волновое давление действует строго направленно в соответствии с вектором скорости первичного волнового возмущения. Это позволяет решать задачи направленного массопереноса жидкости в коллекторе, и создавать условия для неравномерного нагружения околоскважинного пространства коллектора для обеспечения дополнительного порообразования коллектора в режиме дилатансии.

Таблица – Типовые примеры результатов волновых обработок водяных скважин на Юге России (Волгоградская обл, Ставропольский край, Калмыкия)

№ п/п	Дата обработки скв.	№ скважины, район	Интервал обработки, М	Тип коллектора	Наличие фильтра	Дебит, м3/сут		
						первоначальный	до	после
1	2	3	4	5	6	7	8	9
8	09.94	13А-Выезд	22-30	песчан.	Фильтр	-	10	60
6	10.94	11-Выезд	23-28	песчан.	Фильтр	-	7	16
7	10.94	12-Выезд	23,5-29,5	песчан.	Фильтр	-	3	14
9	11.94	15-Выезд	36,5-38,5	песчан.	Фильтр	-	10	24
4	12.94	7-Выезд	60-73	песчан.	Фильтр	-	5	24
1	02.95	7-Грачи	42,5-43,5	песчан.	Фильтр	12	0	16
14	03.95	5-Урюпинск	54-80	известн.	б/ф	120	0	120
5	04.95	9Б-Выезд	18,1-30	песчан.	Фильтр	-	10	30
3	06.95	18-Грачи	38-44	песчан.	Фильтр	10	7,2	20
20	06.95	1-Алексеевск	20-29	песчан.	Фильтр	нет	7,3	15
21	07.95	2-Алексеевск	22-31	песчан.	Фильтр	-	6	15
22	07.95	3-Алексеевск	24-31	песчан.	Фильтр	-	7	10
23	07.95	4-Алексеевск	30-38	песчан.	Фильтр	-	6	14
24	07.95	5-Алексеевск	20-29	песчан.	Фильтр	-	0	14
2	08.95	13-Грачи	35-51	песчан.	Фильтр	45	45	72
11	11.95	2-Урюпинск	40-76	известн.	б/ф	18	18	70
12	12.95	3-Урюпинск	36-50	известн.	б/ф	18	15	90
13	12.95	4-Урюпинск	45-58	известн.	б/ф	60	15	115
15	01.96	7-Урюпинск	42-50	песчан.	б/ф	100	50	100
19	02.96	20-Елань	166-182	песчан.	Фильтр	16	0	36
18	03.96	19-Елань	172-188	песчан.	Фильтр	16	16	27
26	04.96	8-Ольховская	33-39	песчан.	Фильтр	5	5	23
27	04.96	9-Ольховская	34-39	песчан.	Фильтр	нет	0	25
29	04.96	1-Качалино	35-41	песчан.	Фильтр	4	4	16
10	05.96	4А-Выезд	19-26,4	песчан.	Фильтр	-	10	18
16	05.96	14-Елань	188-200	песчан.	б/ф	10	0	10

17	05.96	15-Елань	185-189	песчан.	Фильтр	8	8	36
30	05.96	3/94-Ср.Пруды	115-125	песчан.	Фильтр	2,5	2,5	7
28	06.96	10-Лог	110-120	песчан.	Фильтр	-	0	12
31	06.96	1-Солодча	64-71	песчан.	Фильтр	нет	0	18
25	07.96	2-Ольховская	33-39	песчан.	Фильтр	6	0	18
32	06.97	1-Ставро-Полт.	6-12	песчан.	Фильтр	7	2,7	6,4
34	07.97	3-Ставро-Полт.	6-12	песчан.	Фильтр	9	2,7	9
33	08.97	2-Ставро-Полт.	6-12	песчан.	Фильтр	10	3	12
35	08.97	4-Ставро-Полт.	6-12	песчан.	Фильтр	9	2,3	8,7
36	08.97	5-Ставро-Полт.	6-12	песчан.	Фильтр	12	6	10
37	08.97	6-Ставро-Полт.	6-12	песчан.	Фильтр	12	2	9,58
38	08.97	7-Ставро-Полт.	6-12	песчан.	Фильтр	10	3,5	8
40	09.97	3-Николаевск	38-49	песчан.	Фильтр	75	40	120
39	10.97	1-Николаевск	39-53	песчан.	Фильтр	75	40	120
41	10.97	4-Николаевск	38-49	песчан.	Фильтр	50	25	78
42	10.97	12-Николаевск	38-49	песчан.	Фильтр	40	30	60
43	04.98	Ново-Николаев	110-122	песчан.	Фильтр	10	0	25
44	05.98	1-Фролово	25,4-35,9	песчан.	Фильтр	18	14	24
45	05.98	9Б-Фролово	17-29	песчан.	Фильтр	18	0	29
46	08.98	1-Сурувикино	20-30	песчан.	Фильтр	20	5	30
47	11.98	Н.Чир	190-210	песчан.	б/ф	5	0	10
48	02.99	Н.Чир	190-210	песчан.	б/ф	5	0	10
49	06.99	Ольховка	43-50	песчан.	Фильтр	8	3	15
50	06.99	Ольховка	43-50	песчан.	Фильтр	8	3	15
54	07.99	Дубовка	400-405	песчан.	б/ф	25	0	25
52	08.99	Калмыкия-Элиста	50-60	песчан.	Фильтр	30	16	40
53	08.99	Клетский	40-52	песчан.	Фильтр	8	5	15
51	09.99	Рудня	135-145	песчан.	б/ф	8	5	10

ПРИМЕЧАНИЕ: Всего обработано более 1000 скважин различного назначения

Волновое поле действует с различными силами на частицы многокомпонентной (многофазной) среды, обладающими различным волновым сопротивлением. Поэтому будет иметь место бесконтактное разделение жидкостей и включений, в том числе осаждение взвесей в жидкостях.

Волны генерируются на устье скважины (на поверхности), передаются вдоль скважины по магистральному (жидкостному) волноводу до коллектора,

где их отражают и направляют вдоль коллектора. Волны должны иметь расчетные параметры (форму, соответствующую закону сопротивления коллектора нагнетанию жидкой фазы, амплитуду, длину, частоту). Волновод – жидкость в скважине, должен обеспечивать передачу волны в коллектор с минимальными потерями. Передача, поворот и излучение волн в другие среды должны обеспечиваться в соответствии с законами механики волн.

В скважину на устье излучают волны с осевым вектором скорости волнового движения, а на уровне коллектора его поворачивают вдоль продуктивного горизонта.

Например, волна с расчетными параметрами передается на забой скважины глубиной до 3 тысяч метров с потерями по амплитуде волны до 25%.

Выводы:

Волновое воздействие на коллектор обеспечивает условия для повышения водопритока к скважине и, в конечном счете, повышает производительность скважин. Опыт показывает, производительность можно повысить в несколько раз до нескольких десятков раз.

Более сложные технологии, включающие специальные волновые воздействия, позволяют повышать извлечение воды из коллектора, а в отработанных коллекторах доизвлекать еще (30-50)% зашлепленной в мелкопористой части коллектора воды.

Инновационные и модернизированные методы извлечения жидких и газообразных полезных ископаемых с применением силовых волн позволяют сократить затраты на добычу последних в 2-3 раза и довести их извлекаемость до соответствия с начальными запасами.

Список использованных источников: 1. Бажал А.И. и др. Новые проблемы и новые технологии добычи углеводородов на больших глубинах. Высокие технологии в машиностроении, Национальный Технический Университет (ХПИ), 2/2006. 2. Бажал А.И. и др. Природные коллекторы и общие закономерности движения нефти и газа в них. Высокие технологии в машиностроении, Национальный Технический Университет (ХПИ), 2/2009. 3. Бажал А.И. и др. Обеспечение жидкостной проницаемости горных пород на месте их залегания с помощью силовых волн. Высокие технологии в машиностроении, Национальный Технический Университет (ХПИ), 2/2007.

Поступила в редколлегию 22.01.2012

УДК 621.91

А.И. Бажал, д-р техн. наук, Харьков, Украина,
В.М. Кучеровский, канд. техн. наук, А.М. Барака, Москва, Россия,
А.А. Бажал, Кривой Рог, Украина, Ант.А. Бажал, Харьков, Украина,
С.Г. Серебренникова, Москва, Россия

ВОЛНЫ И ТЕХНОГЕННАЯ ДИЛАТАНТНАЯ ПРоницаемость ТВЕРДЫХ СТРУКТУР

Всі уявлення про зміну фізичного стану - пористості, рідинно-газової проникності масиву монолітних скельних порід та видобутку корисної копалини, пов'язані з подібненням та трициноутворенням гірських порід. Цей процес потребує великих енергетичних та фінансових витрат. Альтернативою цьому процесу є ділатантне розуцільнення масиву. Ділатансія являє собою зсув по кристалічній площині. Це можуть бути площини окремих кристалів або цілих блоків. Зсув по суцільному об'єму, дією суперпозиції імпульсних хвиль при нерівномірному навантаженні забезпечує рівномірну проникність суцільного масиву за рахунок новоутвореної тріщинності та пористості масиву. Равова суперпозиція нерівномірного хвильового поля та багатоциклової імпульсно хвильової активації дислокацій приводить до прискорення дифузії і послідовному підвищенню видобутку корисної копалини. Багатоциклово імпульсно хвильове навантаження з заданим вектором швидкості часток в хвилі і наявністю рідкої фази приводить до ділатантних ефектів при значно менших значеннях напруженості в масиві.

Все представления об изменении физического состояния, в том числе пористости, жидкостно-газовой проницаемости массива монолитных скальных пород и извлекаемости полезного ископаемого связываются с дроблением или трещинообразованием горных пород. Процесс этот энергозатратен и затратный. Альтернативой ему является дилатантное разуплотнение массива. Дилатансия представляет собой сдвиг по кристаллическим плоскостям. Это могут быть поверхности отдельных кристаллов или целых блоков. Сдвиг по всему объему, подтвержденному суперпозицией импульсных волн неравномерному нагружению обеспечивает равномерную проницаемость всего массива за счет вновь образованной трещиноватости и пористости массива. Равовая суперпозиция неравномерного волнового поля и многоциклово импульсно-волновой активации дислокаций приводит к ускорению диффузии и последующему повышению извлекаемости полезного ископаемого. Многоциклово импульсно-волновое нагружение с заданным вектором скорости частиц в волне и наличии жидкой фазы приводит к дилатантным эффектам при значительно меньших величинах напряжений в массиве.

All current understanding of methods used in order to establish production of deeply deposited mineral resources from non-permeable and crystalline rocks so to achieve or improve extraction of such resources through wells is associated with destruction and fracturing of such rocks. Known methods of such destruction and fracturing are expensive and require lots of energy. De-latent decompression of rock masses might be viewed as a more usable and inexpensive alternative to such methods. De-latency may be described as a multiple shift within a rock mass along inter-crystal surfaces. These could be surfaces between micro crystals as long as otherwise surfaces of high stress within the rock mass. Volumetric shifts within the mass instigated with superposition of impulse waves and enhanced with unequal stress within the mass provides for establishing volumetric permeability through newly formed micro fractures connecting natural pores of the rock mass. Mono-impulse wave superposition as well as multi-cyclical wave activation leads to enhancement of diffusion processes and in turn to improvement of extraction of such natural resource. Multi-cyclical and calculated impulse wave enhanced technological and volumetric stress with controlled vector of the load and controlled parameters of the waves