

УДК 550.8:622.831

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ НАПРЯЖЕННОГО
СОСТОЯНИЯ ВЕРХНЕЙ ЧАСТИ ПОДРАБАТЫВАЕМОГО
МАССИВА НА ПАРАМЕТРЫ СЕЙСМИЧЕСКИХ
СИГНАЛОВ**

**Трифонов А. С., Тиркель М. Г., Туманов В. В.,
Архипенко А. И.**
(УкрНИИМИ НАНУ, г. Донецк, Украина)

У статті наведено результати досліджень характеру прояву в параметрах сейсмічних хвиль змінення напруженого стану верхньої частини підроблюваного гірського масиву.

The article contains the results of research into parameters of seismic waves related to the changes in stressed state to near-surface structural heterogeneities of rock mass being undermined

Современные технологии интенсивной отработки угольных пластов обуславливают активизацию геомеханических процессов в породном массиве с возрастанием количества и масштабности геодинамических явлений (внезапных выбросов угля и газа, горных ударов, обрушений пород основной кровли и др.) и, соответственно, уровня аварийных ситуаций в очистных забоях [1].

Проблематичность диагностики геодинамически опасного состояния породной толщи над очистной выработкой связана с геологической многофакторностью (структурная, литологическая, тектоническая анизотропия углевмещающего массива) влияния на развитие напряженно-деформационных процессов в массиве. Вместе с тем определяющее значение в этих процессах имеет протяженность консольной части основной кровли угольного пласта [2-6], статическая нагрузка от которой на пласт может значительно превышать нагрузку всей вышележащей пород-

ной толщии. С достижением критических значений растягивающих напряжений в области защемления консоли и, соответственно, обрывом консоли она может оказывать мощное динамическое воздействие на пласт с его деструкцией или возникновением динамического или газодинамического явления.

С учетом определенной цикличности геомеханического энергонасыщения и разгрузки массива над очистной выработкой применительно к прогнозной оценке геодинамической опасности наиболее важным представляется определение тенденций изменения напряженности во времени по мере подвигания очистного забоя и, соответственно, изменения протяженности консольной части основной кровли.

Достаточно высокой чувствительностью и информационной насыщенностью в отношении изменения напряженного состояния подрабатываемого массива обладают кинематические и динамические показатели упругих волн [3, 4], позволяющие объективно оценивать происходящие изменения напряжений. В этом отношении показательны результаты режимных сейсмических наблюдений по изучению состояния подрабатываемого массива, проведенных в УкрНИМИ в 2008 г. в рамках интеграционного проекта № 93 ИГД СО РАН «Разработка методов и создание систем сейсмодеформационного мониторинга техногенных землетрясений и горных ударов».

Экспериментальные исследования проводились с земной поверхности над 1-ой северной лавой блока 3 (угольный пласт d_4 мощностью $\sim 1,5$ м на глубине ~ 570 м при пологом залегании) шахты «Красноармейская-Западная № 1». Наблюдения выполнялись на прямолинейном профиле, разбитом на четыре интервала зондирования протяженностью по 50 м (см. рис. 1). Упругие колебания возбуждались и принимались в забоях скважин на глубине около 1,2 м с сохранением неизменности условий зондирования для всех циклов наблюдений (четыре цикла, выполненных 02.10.08, 14.10.08, 17.10.08 и 23.10.08).

Сейсмическая информация регистрировалась в цифровом виде (сейсмостанцией REZ-2T) с многократным (до 60 раз) суммированием сигналов.

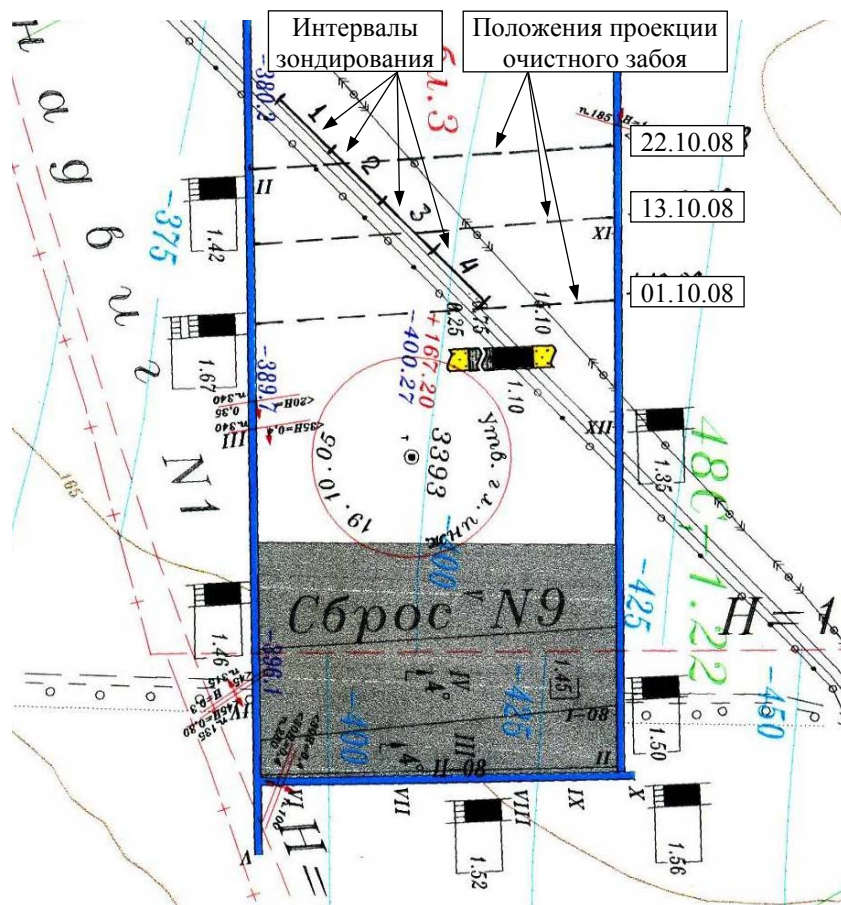


Рис. 1. Схема объекта экспериментальных исследований над 1-ой северной лавой блока 3 шахты «Красноармейская-Западная № 1» (масштаб 1:5000)

На рис. 2 в качестве примера приведены сейсмограммы (в виде абсолютных значений амплитуд) по первому интервалу зондирования (см. рис. 1) для четырех циклов наблюдений. Сейсмические записи представлены различными группами волн (головные, отраженные от границы коренных пород и суперпозиция рефрагированных, поверхностных, обменных и кратных волн) и характерны визуальной коррелируемостью (по фазовым и амплитудным показателям) волновых структур сигналов всех циклов наблюдений. Вместе с тем, детальный анализ показывает, что в процессе режимных наблюдений по мере подвигания линии очистного забоя (см. рис. 1) в сейсмических сигналах происходили определенные фазовые изменения, обусловленные изменением скорости распространения различных волн. В меньшей степени эти изменения проявляются для отраженных волн от границы ко-

ренных пород, диапазон фазового смещения для которых составляет порядка 1 % (см. рис. 3 а). Для вступлений рефрагированных волн (см. рис. 3 б) этот показатель примерно вдвое больше.

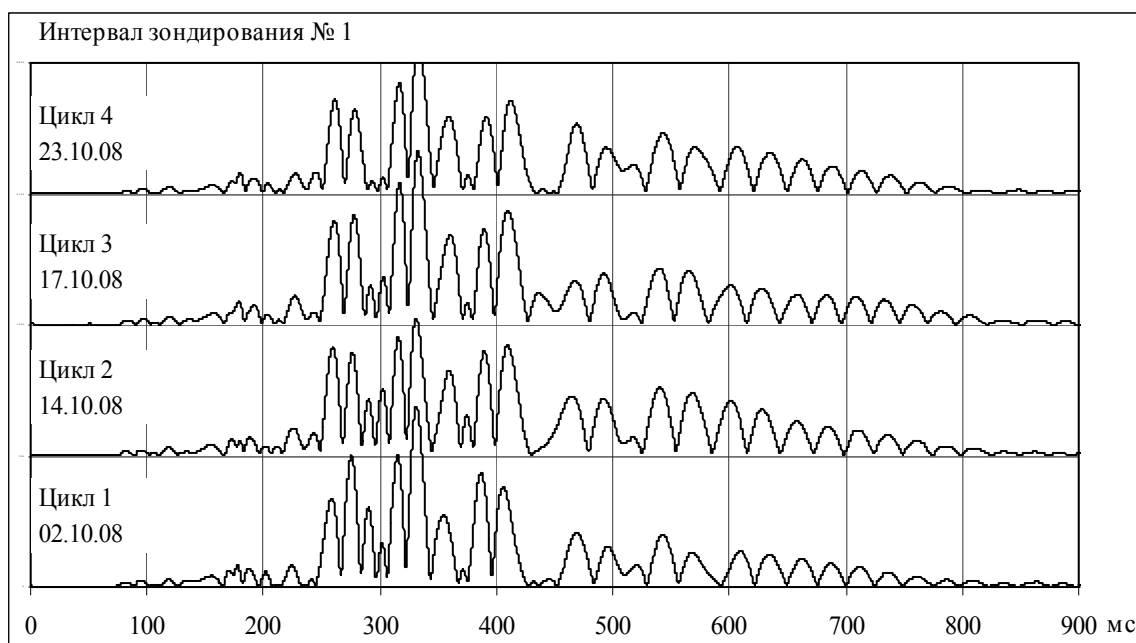


Рис. 2. Пример сейсмических записей (в виде абсолютных значений амплитуд) режимных наблюдений на интервале зондирования № 1

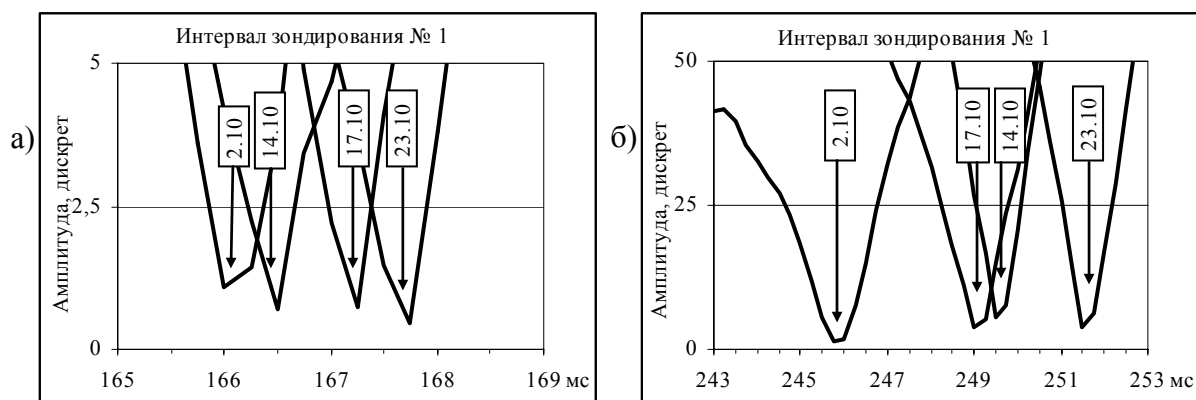


Рис. 3. Фрагменты сейсмических записей на интервале зондирования № 1 во временном диапазоне вступления отражений от границы коренных пород (а) и во временном диапазоне вступления рефрагированных волн (б)

На рис. 4 показаны графики изменения времени вступления рефрагированных волн в процессе режимных наблюдений по всем четырем интервалам зондирования (графики 2 и 4 рисунка 4 соответствуют правой оси ординат). Определенные различия времени вступления рефрагированных волн в первом цикле наблюдений (см. рис. 4), помимо различий в базах зондирования (до 2-х м), могут быть обусловлены неоднородностью напряженного состояния горного массива вблизи крупного тектонического нарушения (Удачинский надвиг на рис. 1) и различием геомеханических проявлений подработки в покровной толще на момент наблюдений.

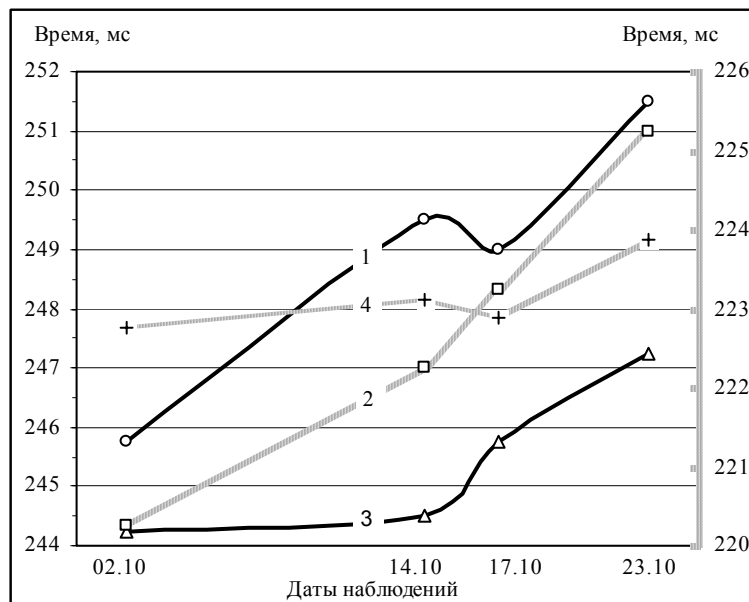


Рис. 4. Характер изменения времени вступления рефрагированных волн по четырем интервалам зондирования (соответственно графики 1, 2, 3 и 4) в процессе режимных наблюдений

Происходящие на двух первых интервалах зондирования возрастание ко второму циклу наблюдений (14.10.08) времени прихода рефрагированных волн указывают на развитие растягивающих напряжений на этих интервалах, находящихся впереди линии очистного забоя. Возрастания скорости на интервале № 1 (см. график 1 на рис. 4) между вторым и третьим циклами наблюдений отражает резкое изменение геомеханической ситуации

в массиве с его разгрузкой до земной поверхности и на десятки метров по ходу очистного забоя. Такого рода разгрузка может быть вызвана только масштабным обрушением консольной части пород основной кровли, которая до обрушения предопределяет не только повышенные напряжения в породном массиве вплоть до покровных отложений, но и переход стадии упругих деформаций в покровных отложениях (растягивающих напряжений) к образованию в них трещиноватости. Об этом свидетельствуют последующие после второго цикла наблюдений высокие значения времени распространения рефрагированных волн на первом интервале зондирования (см. рис. 4, график 1) и их дальнейший рост после третьего цикла наблюдений.

Растягивающие напряжения в разной степени проявляются также и на интервалах зондирования № 2 и № 3 с активизацией процессов трещинообразования после второго цикла наблюдений.

На четвертом интервале зондирования, при незначительности (0,5 %) изменения времени распространения рефрагированных волн (см. рис. 4, график 4), тем не менее, после второго цикла наблюдений происходит понижение (на 0,1 %) временного показателя рефрагированных волн с последующим (после третьего цикла наблюдений) его повышением. Возможно, это связано с определенными горизонтальными смещениями верхней части массива и частичным закрытием трещин в покровной части среды на этом участке.

Возрастание напряжений в покровных отложениях на всех интервалах зондирования ко второму циклу наблюдений подтверждается и характером изменения видимых частот вступлений (первой фазы) рефрагированных волн, показанному на рис. 5. Этот показатель идентично возрастает на первых трех интервалах зондирования (см. рис. 5) с увеличением значения частоты в пределах 10-15 %. Примерно также идентично происходит после второго цикла наблюдений и понижение (в пределах 6-10 %) частотного показателя по рассматриваемым интервалам. Эта стадия резкого снижения частот представляется достаточно показательной в отношении произошедших в массиве значительных геодинамических преобразований с разгрузкой всей породной толщи, включая покровные отложения, в которых и распространяются

рефрагированные волны. Примечательно, что значение частотного показателя на первом интервале зондирования (наиболее удаленного от проекции линии очистного забоя на земную поверхность) после разгрузки немногим (на 1,15 %) отличается от значения в первом цикле наблюдений – что, возможно, свидетельствует об упругом характере деформаций на этом интервале (см. график 1 на рис. 5).

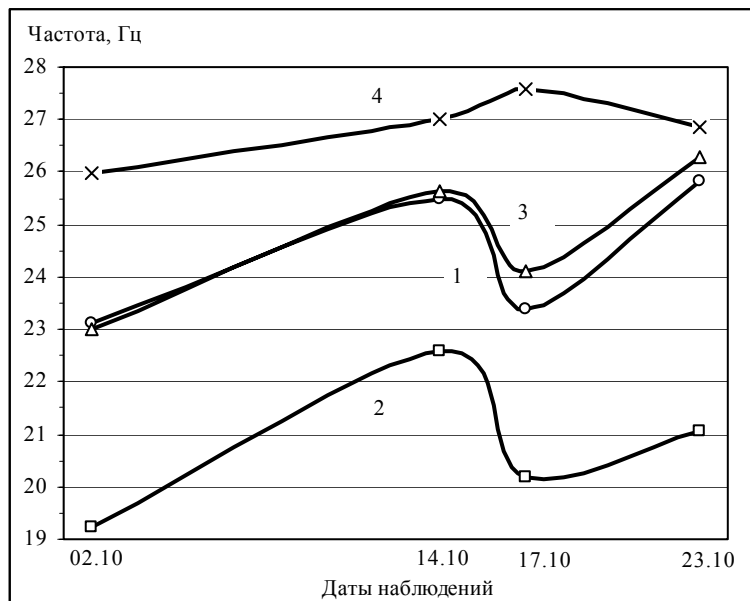
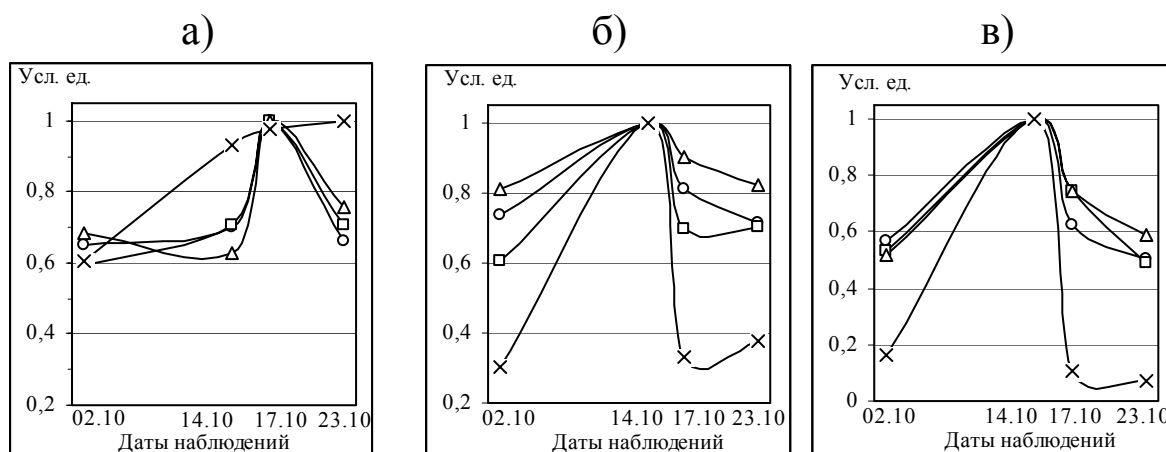


Рис. 5. Характер изменения видимых частот вступлений рефрагированных волн по интервалам зондирования (соответственно графики 1, 2, 3 и 4) в процессе режимных наблюдений

Изменения частотного показателя рефрагированных волн на четвертом интервале зондирования (см. график 4 на рис. 5) менее выражены и характер этих изменений иной, чем на первых трех интервалах и связано это может быть с затухающими деформационными процессами над отработанным участком.

Последующее после разгрузки массива (после третьего цикла наблюдений) повышение частоты рефрагированных волн на первых трех интервалах зондирования может быть вызвано продолжением действия растягивающих напряжений в покровных отложениях (вследствие постепенной просадки массива) с сохранением в них определенной упругости и при отсутствии сущест-

венных геомеханических изменений над очистной выработкой. Это отсутствие достаточно убедительно проявляется в характере изменения энергетических показателей головных, отраженных от границы коренных пород, рефрагированных совместно с поверхностными и кратных волн, приведенном на рис.6.



Временные диапазоны расчета энергетических показателей:

Интервал зондирования № 1

- 0-166 мс
- 166-250 мс
- △ 250-430 мс
- × 430-800 мс

Интервал зондирования № 2

- 0-153 мс
- 153-220 мс
- △ 220-500 мс
- × 500-800 мс

Интервал зондирования № 3

- 0-160 мс
- 160-245 мс
- △ 245-500 мс
- × 500-800 мс

Рис. 6 Характер изменения энергетических показателей сейсмических волн в процессе режимных наблюдений по интервалам зондирования № 1 (а), № 2 (б) и № 3 (в)

Энергетические характеристики сейсмических сигналов рассчитывались с предварительным нормированием сигналов по энергетическим параметрам прямых волн, регистрируемых на базе 3 м для в каждом пункте возбуждения при одновременном приеме сигнала на исследуемой базе 50 м. Такая процедура позволяет устранить в результирующем сигнале проявление неоднозначности источника колебаний (механические удары кувалдой по передаточной штанге) по мощности и, тем самым, корректно сопоставлять энергетические характеристики по циклам наблюдений.

Наиболее ярко проявляются изменения состояния покров-

ной толщи в энергетических показателях низкоскоростных (около 100 м/с) кратных волн (графики для этих волн на рис. 6 обозначены символом - \times), распространяющихся между земной поверхностью и границей коренных пород вследствие многократных отражений от этих границ. Возрастание энергетических показателей этих волн на втором интервале зондирования (см. рис. 6 б) ко второму циклу наблюдений составляет 3,3 раза с последующим спадом в 3 раза, а на третьем интервале зондирования (см. рис. 6 в) возрастание превышает 6 раз с последующим спадом в 10 раз. При этом на первом интервале зондирования возрастание энергии кратных волн не превышает 1,7 раз и последующий характер изменения на этом интервале энергетического параметра совершенно отличается от этих изменений на втором и третьем интервалах. Равно как и отличается характер изменения энергетических показателей на первом интервале (см. рис. 6 а) головных (на рис. 6 графики с символом - \circ), отраженных от границы коренных пород (на рис. 6 графики с символом \square) и рефрагированных совместно с поверхностными (на рис. 6 графики с символом - Δ) волн от характера изменения энергетических показателей этих волн на интервалах № 2 и № 3. Возможно, эти различия связаны с блочным строением массива, определяемым близким расположением крупного тектонического нарушения (Удачинского надвига № 1 на рис. 1), и напряжения, возникающие в одном блоке, существенно ослабляются на границе блоков. Так или иначе, энергетические показатели анализируемых волн над очистной выработкой отражают стадию накопления в массиве значительного энергетического потенциала и последующую стадию резкой разгрузки массива.

Значительность диапазона изменения энергетических параметров сейсмических волн на стадии роста напряжений в массиве определяет высокую информативность этих показателей в отношении возможного формирования геодинамической опасности над очистной выработкой. Идентичность проявления этих показателей для различных типов сейсмических волн подтверждает их (показателей) однозначность в отношении протекающих в горном массиве геомеханических процессов и, возможно, эти показатели могут оказаться полезными не только применительно к

рассматриваемой ситуации оценки состояния подрабатываемого массива, но и для контроля состояния дамб, плотин, породных отвалов и оползнеопасных участков.

СПИСОК ССЫЛОК

1. Левкин Н.Б., Кузменко Н.С., Зинченко К.А., Андреев Н.М., Удовенко О.Н. Безопасность при отработке угольных целиков в сложных горно-геологических условиях // Проблемы гірського тиску. – 2003. - № 9. – С. 23-39.
2. Спосіб сейсмоакустичної діагностики геодинамічного стану вугільного пласта в очисній виробці [Текст] : пат. 25374 Україна: МПК (2006), G 01 V 1/00 /Трифонов О. С., Туманов В. В., Архипенко О. І., та ін.; власник УкрНДМІ НАН України. - №и 2007 02455 ; заявл. 06.03.07; опубл. 10.08.07, Бюл. № 12 – 8 с.
3. Тиркель, М. Г., Трифонов, А. С., Туманов, В. В. и др. Сейсмическая диагностика горного массива над областью очистных работ / М. Г Тиркель, А. С. Трифонов, В. В. Туманов и др. // конф. Неделя горняка – 2008, семинар № 2 / МГГУ: - Москва, 28 января-01 февраля 2008 г.
4. Анциферов, А. В., Тиркель, М. Г., Трифонов, А. С. И др. Сейсмический мониторинг углепородного массива над очистными работами [Текст] / А. В. Анциферов, М. Г. Тиркель, А. С. Трифонов и др.// - конф. - Фундаментальные проблемы формирования техногенной геосреды /. –. Институт горного дела СО РАН: - Новосибирск, 7-11 июля 2008 .
5. Спосіб сейсмічної діагностики геодинамічного стану гірського масиву [Текст]: пат. 26538 Україна: МПК(2006), G 01 V 1/00, E21F 5/00 / Трифонов О. С., Анциферов А. В., Туманов В. В. та ін.; власник УкрНДМІ НАН України. - № и200705572 ; заявл. 21.05.07; опубл. 25.09.07, Бюл. № 15, - 8 с.
6. Трифонов, А. С., Тиркель, М. Г., Туманов, В. В. и др. Сейсмические проявления геодинамических процессов над очистной выработкой [Текст] / А. С. Трифонов, М. Г. Тиркель, В. В. Туманов и др. // - сб. науч. тр. / УкрНИМИ НАН Украины: - Донецк, 2008 - № 2. - С. 83-89.