

УДК 622.235:622.271

В.В. ШАМАЕВ (канд. техн. наук, доц.)

ГВУЗ «Донецкий национальный технический университет» МОН Украины, г. Покровск

ОСОБЕННОСТИ ДЕФОРМИРОВАНИЯ МАССИВА, ОБУСЛОВЛЕННЫЕ ПЕРЕРАСПРЕДЕЛЕНИЕМ ГЕОДЕФОРМАЦИОННЫХ ПОЛЕЙ

Работа посвящена анализу и прогнозу механизма, природы и характера развития и эволюции деформационных (геодинамических и геомеханических) процессов, обусловленных перераспределением в массиве горных пород геодеформационных полей. Результаты работы являются информационной базой для оценки состояния массива горных пород и принятия решений по защите объектов подземной и поверхностной инфраструктуры.

Ключевые слова: геодеформационные поля, процессы деформирования, защита объектов.

Переход к безубыточности горнодобывающих предприятий и повышение эффективности их работы должен осуществляться на основе объективного анализа и прогноза геодинамических и, в частности, геомеханических условий, которые за период функционирования предприятия могут изменяться. Опыт эксплуатации шахт Донбасса свидетельствует о непрерывном ухудшении горно-геологических и геотехнических условий, увеличении сложности и интенсивности физических процессов и явлений, протекающих в массиве горных пород, которые оказывают негативное воздействие на состояние объектов инфраструктуры горнодобывающих предприятий (как подземных, так и поверхностных), а также на состояние охраняемых природных и инженерных объектов. Деформационные процессы все чаще носят такой характер, что управлять их воздействием на горные выработки с помощью традиционных технологических решений и средств, не представляется возможным.

Отсюда следует, что анализ и прогноз механизма, природы и характера протекания деформационных (геодинамических и геомеханических) процессов в настоящее время, являются основной информационной базой для оценки состояния массива горных пород и принятия технологических решений по защите и поддержанию объектов подземной и поверхностной инфраструктуры на подрабатываемых территориях [1,7,8].

Массив горных пород - это часть земной коры (тектоносферы) и, следовательно, его напряженно-деформированное состояние определяется законами перераспределения геодеформационных полей и процессов, действующими в ней.

Производство горных пород связано с неизбежными явлениями сдвига и деформирования горных пород, а нередко (например, в зонах локализации пластических деформаций) и с аномальными геомеханическими и геодинамическими явлениями (горными ударами, выбросами, сейсмическими явлениями). При этом негативное явление проявляется не только на горные выработки и объекты типа метрополитена, но и объекты поверхности. Техногенные землетрясения с силой толчков до 6 баллов, вызванные горными работами на угольных, железорудных и калийных месторождениях зарегистрированы в США, Канаде, Германии, Китае, СНГ и др. странах. В качестве примера можно привести техногенное землетрясение произошедшее 13 марта 1989 года на руднике по добыче калийных солей имени Эрнста Тельмана в местечке Меркерс Района Бад-Зальцунген на юге Германии [6]. Землетрясение произошло после промышленного взрыва на горизонте 800 м. Сила толчка составила 5,5 баллов по шкале Рихтера, а продолжительность 12 секунд. Десятки полностью и сотни частично разрушенных жилых домов, поврежденные линия электропередач и автомагистрали, телефонные линии связи - вот далеко не полный перечень последствий этого геодинамического явления. Сложная обстановка сложилась и в районе г. Шахты (СНГ), где с 1983 года регистрируются сейсмические толчки силой до 3-х баллов на подрабатываемых площадях. Негативное влияние указанных выше явлений может быть предотвращено, или, значительно снижено, лишь на основе фундаментального изучения закономерностей проявления геодеформационных полей.

Ранее, в работах [2,3] было показано, что механизм деформирования массива пород блочной структуры заключается в деформировании самих блоков и, кроме того, в их взаимном скольжении и вращении, а в работах [4,5,8] детально рассмотрены природа, генезис и особен-

ности дискретно-волнового характера развития короткоживущих деформационных структур и процессов в слоистых горных массивах. Там, же показано, что деформационные процессы разупорядочения (возрастания энтропии) могут сменяться ограниченными во времени периодами упорядочения, во время которых энергия не рассеивается, а запасается массивом.

Исходя из результатов ранее выполненных исследований, а также результатов геофизических экспериментов можно сделать вывод о том, что изменение энергетического состояния, деформирование или разрушение элементов массива горных пород кроме других известных факторов [6,7,8], определяется и изменением гедеформационных полей (ГД-полей), закономерностями их влияния на состояние массива горных пород. Учет влияния ГД-полей на характер деформирования массива позволит вплотную приблизиться к разработке теории сдвижения и деформирования горного массива, отсутствующей в настоящее время. Механизмы проявления гедеформационных полей весьма многообразны. В настоящей работе мы остановимся на одном из ранее, практически не рассматривавшихся в специальной литературе.

Обобщение результатов большого числа работ, посвященных изучению роли резонансного фактора при проведении и оценке устойчивости горных выработок и подземных сооружений, позволяет высказать предположение о существовании резонансного фактора, общего для большого числа аномальных геодинамических явлений и деформационных процессов как-то: обрушение зон расслоения компетентных пород в горном массиве, разрушение горных выработок и сооружений, горные удары и выбросы горных пород, взрывное и механическое разрушение горных пород, сейсмические события и др.

Рассмотрим, каким образом резонансный фактор может проявляться в инициировании горных ударов и выбросов на абстрактной модели. Размеры плоскости, образующейся при выбросе определяется соотношением:

$$L = C * T$$

где: С - скорость звука в массиве,
Т - период резонансных колебаний:

$$T = 1/V_p * 0.026$$

где: V_p - частота резонанса.

Другими словами, средние размеры воронки выброса составляют половину длины волны резонансного колебания [7,8]. Это же положение относится и к расстояниям между зонами обрушения в очистных выработках.

В качестве инициирующего источника параметрического возбуждения, в последнее время, предлагаются регулярные высокочастотные микросейсмические колебания, обозначаемые как высокочастотные сейсмические шумы (ВСШ) [2]. Эти колебания были открыты и исследованы в 1983 году [3].

Характерное отличие ВСШ - диапазон частот 15-80 Гц, с экстремумом на средней частоте 47,5 Гц. Наблюдается экстремум и на частоте 24,8 Гц, но его обычно относят на счет параметрического резонанса. Предполагается, что регулярные ВСШ имеют гравитационную природу, точнее являются проявлением гравитационной индукции [4]. Сущность гравитационной индукции заключается в периодическом обмене гравитационных масс энергией с частотой $V = C/R$, С - скорость света, R - расстояние между массами. Вышеизложенное позволяет считать ВСШ составной частью спектра ГД-полей.

Поток энергии определяется соотношением:

$$W = 2Y * M_i * M_j * H/R$$

где: Y - гравитационная постоянная $Y=6.67*10^{-11}$, Н*м/кг;
H - космологическая постоянная Хаббла: $H=3,24*10^{-18}$, С;
 M_i , M_j - гравитационно взаимодействующие массы.

Микросейсмы также можно представить как следствие гравитационной самоиндукции Земли. В этом случае:

$$W = 2Y * M * H/R$$

где: M - масса Земли, $M = 5,9742 * 10^{24}$ кг;

R - радиус Земли, $R = 6,371 * 10^3$ м.

Получаем: $W = 2,5 * 10^{29}$ [эрг/с] и $V_p = C/R = 47,1$ [с⁻¹].

Вычисленная частота колебаний совпадает со средней частотой ВСШ, а их длина волны (порядка 31,5 м) - с длинами зарегистрированных волновых процессов и геодинамических резонансов, а поток энергии на два порядка превышает геотермический поток Земли и на три порядка диссипацию энергии лунных приливов (порядка $2,74 * 10$ эрг/с).

В расчете на единицу массы Земли энергия гравитационной индукции составляет:

$$g = W/M$$

$g = 4,18 * 10^4$ [эрг/г.с].

Эта величина соответствует порядку расхода энергии на акустическую и электромагнитную эмиссию горных пород.

Оценку резонансных частот выполним для самого простого случая - объекта типа камерной выработки. При расчете собственных частот кровлю (потолочину) камеры будем рассматривать как прямоугольную пластину. Соответственно для основной гармоника воспользуемся соотношением:

$$V = Cp/2l$$

где: V - основная частота (Гц); - размеры выработки.

Параметр определяется как эквивалентный пролет камеры [4]. Предельные значения эквивалентных пролетов зависят от крепости и плотности горных пород. Но в такой же мере от этих факторов зависит и скорость звука в массиве.

Вследствие изложенного, вычисленная по формуле резонансная частота мало зависит от крепости пород, а также от глубины выработки и осциллирует вокруг среднего значения $V_{рез} = 25$ Гц.

При вычислении собственных частот камерных выработок по данным /249/ использовалось полуэмпирическое соотношение, полученное из обобщения соответствующей формулы для изометрической полости. Время существования камеры здесь минимальное при собственных частотах порядка 50 Гц.

$$V = C/2,5 * S$$

где: S - площадь потолочины,

Эта частота часто встречается в литературе, как резонансная для выработок. В работе /250/ авторы показали природу развития куполов обрушения в реальном массиве и оценку их устойчивости.

Резонанс играет важную роль и при разрушении горных пород. Так, максимальная скорость резания достигается при определенной частоте импульсной нагрузки, которая по данным Объединенного института ядерных исследований составляет «обычно десятки герц» [3,5]. Максимум скорости при различных режимах нагружения достигается при резонансной частоте около 60 Гц. При взрывном разрушении и индуцированной горными работами сейсмичности экстремум сейсмического спектра соответствует частоте 30 Гц. Таким образом, получаем два резонансных пика: порядка 50-60 Гц и 20-30 Гц. Согласно [5], иницирующему фактору соответствует пик частот 50-60 Гц, а второй является следствием параметрического резонанса. Учет резонансного фактора на этапе формирования очага аномального геодинамического явления (на нано и микроуровне [9]) позволяет дополнить существующие теоретические представления

и открывает новые направления для совершенствования и разработки объективных методов прогноза и оптимизации геодинамических явлений и физических процессов горного производства.

Кратко коснемся вопроса о влиянии флюидов на характер протекания деформационных процессов. Количество флюидов в земной коре сопоставимо с количеством воды в океанах и составляет приблизительно 4% от общей массы земной коры. В основном это минерализованные воды. В меньшей степени представлены газы (CO_2 , CH_4 , H_2 , Ra) и углеводороды. Флюиды совершают непрерывный круговорот и играют большую роль в деформационных процессах.

Среди флюидных составляющих наиболее важное место занимает вода. Как подчеркивал академик В.И. Вернадский: «... нет такого компонента, который мог бы сравниться с ней (водой) по влиянию на ход основных, самых грандиозных, геологических процессов. Нет земного вещества - минерала, горной породы, живого тела, которое бы ее не заключало.» [3]. В недрах Земли находится планетарный подземный резервуар емкостью порядка $28,5 \text{ км}^3$. Это в 20 раз больше, чем в мировом океане! Воды планетарного резервуара рассредоточены в горных породах и глубинном веществе Земли. Дренажная оболочка планеты возникла во время гравитационной дифференциации первичного вещества планеты. В Днепроовско-Донецкой впадине выявлен инверсионный характер распределения химических элементов в подземных водах, когда их содержание повышается снизу-вверх - против нормального в обратном направлении. Если эти данные совместить с результатами исследований тектоники плит, то приходим к выводу, что источник пресной воды скрыт на глубине порядка 70-80 км. В этих районах располагаются бывшие рифты. Если поступление пресных вод в пределах современных рифтов экспериментально подтвердится, то кардинально изменится отношение к проблемам подземных вод.

Интересным, на наш взгляд, представляется и тот факт, что на участках шахтных полей в Центральном районе Донбасса, примыкающих к оси главной антиклинали, притоки воды в горных выработках, расположенных в песчаниках зарегистрированы сначала на нижних горизонтах, а затем на верхних и эти притоки остаются стабильными на протяжении ряда лет [9].

В зависимости от давления и температуры вода в недрах Земли находится в различных состояниях. Условно выделяют пять гидрофизических зон:

- геокриозона или зона твердой воды, ее верхняя граница - дневная поверхность, нижняя - уровень в земной коре, где происходит фазовый переход «вода-лед». В северных широтах мощность этой зоны может превышать 1 км;

- зона «жидкой воды», ее верхняя граница - слои, где лед переходит в воду, нижняя - слои, где вода переходит в парообразное состояние. Мощность этой зоны достигает 80 км, объем воды в ней составляет порядка 2 млрд. км^3 ;

- третья зона охватывает сферу распространения парообразных вод и захватывает глубину до 160 км, где давление достигает 50 Кбар. Границы ее - слои с температурами 450 и 700°C . В этой оболочке у воды разорваны водородные связи, ее молекулы свободны;

- четвертая зона входит оболочка, состоящая из мономерных молекул воды. Температуры составляют порядка $700-1000^\circ\text{C}$, а давление на нижней границе - 1000 МПа. В этой зоне вода почти полностью диссоциируется, она более способна к миграции, чем обычная жидкая вода;

- пятая зона охватывает температурные уровни 1100 и 3700°C и простирается до глубины 2900 км - до земного ядра, охватывая мантию. Давление возрастает до 1200 МПа. В этой зоне вода полностью диссоциирована на атомарные водород и кислород.

Зональное расслоение воды с глубиной оказывает влияние на ход различных физико-химических процессов и образование полезных ископаемых. Вода является важнейшим, если не основным распределителем тепла в земной коре. Из земных недр вода ежегодно выносит 40^{18} Дж, а в земной коре она запасла не менее $18 \cdot 40^{26}$ Дж.

В подавляющем большинстве случаев вода рассматривается исследователями земных недр как индифферентный участник геологических и деформационных процессов, обладающий фиксированными свойствами и оказывающий активное воздействие на эти процессы только как растворитель ионов и их переносчик.

При рассмотрении вопроса о влиянии воды на деформационные процессы в массиве горных пород, обычно выделяют зависимость прочностных свойств горных пород. Установлено, что повышение влаги на 6,0-7,0% приводит к ухудшению прочностных характеристик ар-

гиллитов (глинистых пород) на 80,0%, а период адсорбции влаги этими породами составляет от двух недель до 5,5 месяцев. Это положение можно объяснить тем, что уменьшается содержание конституционной воды, входящей в состав кристаллической решетки слагаемых аргиллит минералов, что неизбежно приводит к частичной потере прочности породы. Потеря прочности аргиллита также происходит за счет адсорбции воды на поверхности глинистых составляющих аргиллита, то есть увеличения физически связанной воды. Но этот процесс протекает намного медленнее. Проиллюстрируем взаимодействия воды и пород на следующем примере. В 1926 году в Рурской области (Германия) одну из шахт затопило водой и произошло поднятие поверхности на 160 мм [6]. Давление воды не могло вызвать такого поднятия, следовательно, сработал эффект увеличения объема («набухания») глинистых пород. Взаимодействие воды и пород нередко приводит к обрушению сводов камерных выработок (в частности, соляных), которое заканчивается сейсмическими толчками поверхности (по сути, микро землетрясениями).

Рассмотрим, взаимодействие геодеформационных полей с флюидными составляющими. При их распространении в пористых насыщенных средах возникают эффекты взаимодействия флюидов с вмещающими породами.

Критические частоты:

$$f(1) = \mu/d^2 \quad \text{и} \quad f(2) = V/b$$

где: μ - кинематическая вязкость флюида;

d - диаметр пор;

b - размер зерна;

V - скорость деформационной волны.

При $f \ll f(1)$, $f \ll f(2)$, где f - частота волны, распространение деформационных волн в водонасыщенных горных породах описывается механикой пористых насыщенных сред [5]. При нарушении первого неравенства перестает быть верным закон Дарси, а при нарушении второго неравенства - зернистую среду уже нельзя рассматривать как сплошную.

Предложенные в работе методы учета геодинамических деформационных процессов на основе параллельного моделирования меняющихся во времени и пространстве массива горных пород геодинамических и гравитационных параметров позволят создать информационную базу и модели для проведения комплексных исследований по изучению развития 3D-деформационных структур в массиве. Такие исследования необходимы не только на техногенных геодинамических полигонах, в местах разработки полезных ископаемых, строительстве и эксплуатации крупных инженерных сооружений, но также и в районах с повышенной природной сейсмостектонической опасностью (зоны сочленения синклиналильных образований и платформ и т. п.).

Объективная оценка геодинамических процессов в техногенном массиве горных пород может служить базой для разработки обоснованных технологических и управленческих решений по обеспечению устойчивого развития территорий, в том числе экологического равновесия, снижению риска и уровня последствий катастроф природного и техногенного характера, что имеет огромное социальное и экономическое значение для многих горнопромышленных регионов.

Выводы. Проведенные исследования позволяют обозначить перспективы дальнейшего совершенствования комплексных исследований по изучению аномальных геодинамических явлений природного и техногенного характера. В частности, требуют проведения специального изучения вопросы интеграции физико-математической обработки геомеханических, геофизических и геодинамических наблюдений различного пространственно-временного масштаба. Реализация подобной модели учета перераспределения геодеформационных полей в трехмерном пространстве потребует, разработки автоматизированной системы идентификации 3D-деформационной структуры и динамики эволюции геодинамических объектов с учетом их дискретно-волновой природы для выработки комплексных управляющих решений. Математическая обработка и интерпретация результатов должны осуществляться в реальном времени с использованием параллельных высокопроизводительных алгоритмов и компьютерных систем типа NUMA-кластеров.

Библиографический список

1. Хаин В.Е. Геодинамические процессы, эволюция взглядов и современные представления. Т. 2: Геодинамика / М.: Наука, 1979, - С.34-46.
2. О свойстве дискретности горных пород // Изв. АН СССР Физика Земли - 1982 - №12 - С.74-93.
3. Садовский М.А. Дискретные иерархические модели геофизической среды // Комплексные исследования по физике Земли. М.: Наука, 1989. - С. 68 - 87.
4. Шерман С.И. Разломно-блоковая делимость литосферы: закономерности структурной организации и тектонической активности // Геодинамика и эволюция Земли, 1996. №. - С.74-77.
5. Теркот, Д. Геодинамика: Геологические приложения физики сплошных сред Часть 2 // Д. Теркот, Дж. Шуберт; пер.с англ.-Мир, 1985. -360 с.
6. Шейдеггер, А. Е. Физические аспекты природных катастроф // М.: Недра, 1981- 232с.
7. Shamaev V.V. Geomechanically fundamentals of preventing the formation critical earth surface deformations over the abandoned mine fields. // Material's International Mining Conference Advanced Mining for sustainable development. На Long, 23-25 Sep. 2010 P. 566 – 574.
8. Шамаев В.В. Дискретно-волновая природа активизации деформационных процессов над отработанными шахтными полями // Матеріали науково-практичної конференції «Донбас-2020: перспективи розвитку очима вчехних», Донецьк, 2010 С. 66-78.
9. Шамаев В.В. Врахування мікрооб'єктів при дослідженні природи геодинамічних і геомеханічних процесів та явищ. // Наукові праці ДонНТУ, Вісті Донецького гірничого інституту Вип. 1, 2010, м. Донецьк. С. 175-181.

Надійшла до редакції 09.04.2017

В.В. Шамаєв

ДВНЗ «Донецький національний технічний університет» МОН України, м. Покровськ

ОСОБЛИВОСТІ ДЕФОРМАЦІЇ МАСИВУ, ОБУМОВЛЕНІ ПЕРЕРОЗПОДІЛОМ ГЕОДЕФОРМАЦІЙНИХ ПОЛІВ.

Робота присвячена аналізу і прогнозу механізму, природи і характеру розвитку і еволюції деформацийних (геодинамічних і геомеханічних) процесів, обумовлених перерозподілом в масиві гірських порід геодформаційних полів. Результати роботи є інформаційною базою для оцінки стану масиву гірських порід і ухвалення рішень по захисту об'єктів підземної і поверхневої інфраструктури.

Ключові слова: геодформаційні поля, процеси деформації, захист об'єктів.

V. Shamaev

State higher educational establishment “Donetsk national technical university”, Ukraine, Pokrovsk

PECULIARITIES OF THE DEFORMATION OF THE MASSIF DEFINED BY THE REFERENCE OF THE GEODEFORMATION FIELDS.

Work is sanctified to the analysis and prognosis of mechanism, nature and character of development and evolution of the deformation (geodynamic and geomechanically) processes conditioned by a redistribution in the array of mountain breeds of the geodeformation fields. Job performances are an informative base for the estimation of the state of array of mountain breeds and making decision on defense of objects of underground and superficial infrastructure.

Keywords: the geodeformation fields, processes of deformation, defense of objects