

УДК [551.24.035+551.24.05]:004.94

Компьютерная реконструкция тектонофизических параметров в системе принятия решений по развитию региона

Шамаев В. В.

Донецкий национальный технический университет, Донецк, Украина

Аннотация

Приведен анализ комплексного воздействия на массив горных пород для выделения суммарного поля деформаций и наиболее молодого поля деформаций с помощью нейросетевого моделирования, результаты которого используются при прогнозировании состояния массива (распределения деформационных структур, обусловленных комплексным действием тектонических и техногенных полей деформаций и напряжений).

В настоящее время весьма актуальной является проблема разработки системы принятия научно обоснованных экономических, технологических, экологических, а нередко и политических решений по развитию инфраструктуры регионов. Особенно остро эта проблема стоит в развитых горнопромышленных регионах (например, в Донбассе). Проблема охватывает комплекс задач (проектирование, развитие и поддержание деятельности промышленных и горнодобывающих предприятий, их консервацию и перепрофилирование, снижение энергоемкости добываемого сырья, охрану природных и искусственных объектов (подземных и поверхностных), защиту почв и плодородных земель и т. д.). Решение проблемы – в повышении объективности, достоверности и эффективности прогнозирования горно-геологических условий с учетом геодинамических процессов (в первую очередь, распределения деформационных структур, обусловленных комплексным действием тектонических и техногенных полей деформаций и напряжений).

Проведенные ранее исследования показали, что состояние массива в значительной мере обусловлено комплексным воздействием палеотектонических, неотектонических и техногенных полей деформаций. Это связано с образованием в массиве нестабильных деформационных структур с изменяющимися в течение времени параметрами деформаций. Главной задачей исследований является анализ этого комплексного воздействия с целью выделения суммарного поля деформаций и наиболее молодого поля деформаций с помощью информационных технологий. Существующие методики учета параметров тектонических полей деформаций и напряжений не достаточно эффективны и требуют доработки.

Изменение напряженно-деформированного состояния массива, происходит дискретно за счет отдельных актов разрушений (подвижек), возникающих в условиях притока (высвобождения) энергии из прилегающих областей. Перераспределение энергопотоков в тектоносфере, определяет параметры процессов деформирования, а также их вид, энергетические характеристики и механизм развития аномальных геодинамических явлений (АГДЯ) любого масштабного уровня (от «стреляния» пород до сейсмических эффектов и техногенных землетрясений).

Возникающие вследствие этого перераспределения структуры деформаций представляют собой метастабильные, динамичные образования – энергоактивные деформационные структуры, локализованные в пространстве и времени [1–7]. Нестабильное равновесие таких деформационных структур может быть нарушено весьма незначительным (по энергетическим характеристикам) возмущающим воздействием техногенного характера (проведением БВР, нагнетанием в толщу пород жидкостей и др.) [3, 5]. В свою очередь, изменение напряженно-деформированного состояния массива горных пород вызывает изменение свойств горного массива (сейсмичности, электропроводности, скорости упругих волн, акустической и электромагнитной эмиссий).

Разработка системы принятия инженерных, экономических, экологических, а нередко и политических решений по развитию подземной и поверхностной инфраструктуры региона должны выполняться с учетом знаний о процессах протекающих не только в литосфере, но и во всех геосферах планеты. Существенным отличием предложенного в данной работе методологического подхода к решению проблемы является то, что для объективной оценки достаточно определить качественные геофизические и тектонофизические характеристики состояния массива, а также степень их влияния на опасность возникновения АГДЯ, а не получать абсолютные значения напряжений и деформаций.

Исходя из выше рассмотренного, можно сделать следующие выводы:

- принятие комплекса решений по развитию подземной и поверхностной инфраструктуры региона должно основываться на результатах исследований тектонических полей деформаций и напряжений с помощью компьютерного моделирования;
- рассматриваемая проблема представляет комплекс взаимосвязанных задач, решение которых, возможно на основе изучения природы и механизмов взаимодействия разновозрастных тектонических и техногенных полей деформаций.
- контроль состояния массива должен осуществляться методом регионального мониторинга с целью создания региональных проблемно-ориентированных баз данных, и их последующего интегрирования в глобальные сети;
- мониторинг состояния массива и создание БД должны выполняться с использованием нейросетевых моделей, позволяющих повысить оперативность и достоверность получаемых параметров и обучающихся в процессе исследований;
- с целью повышения надежности и оперативности регионального и текущего прогноза и учета влияния фактора времени, системы контроля должны охватывать частотный диапазон процессов дискретного разрушения (0,01 Гц – 500 кГц);
- разработка научных основ теории управления деформационными процессами в массиве горных пород, должна осуществляться в соответствии с концепцией гедеформационных полей в физике Земли, физическими моделями развития очагов геомеханических и геодинамических явлений, и результатами комплексных систематических исследований состояния массива горных пород.

Основным моментом при решении рассматриваемой проблемы является анализ и реконструкция тектонических и техногенных полей деформаций и напряжений. Кинематический анализ структур тектонических разрывных смещений при реконструкции полей деформаций и напряжений [5–9], развивающий представления, изложенные в [3, 4, 11–13], предназначен для исследования тектонических деформаций единого этапа. Основные принципы этого анализа применимы также и при изучении наложенных хрупких деформаций, производных от действия различных полей напряжений.

Рассмотрим методику реконструкции единого поля деформаций. Модель среды и ее напряженного состояния принимаем аналогичной модели, описанной в работе [15]. Рассматривается некоторый геологический объем, рассеченный произвольно ориентированными системами ослабленных поверхностей разрывов, в котором действует однородное поле напряжений. Деформация в данном анизотропном объеме развивается путем смещений по всей совокупности разрывов в соответствии с теорией пластичности.

В качестве исходного соотношения, отражающего зависимость между направлением смещения вдоль одного разрыва и компонентами девиатора тензора напряжений σ , вызывающих данное смещение, рассмотрим систему

$$(\mathbf{p} \cdot \mathbf{m}) = 0, (\mathbf{p} \cdot \mathbf{t}) > 0; \quad (1)$$

где: \mathbf{p} – полный вектор напряжений на площадке-разрыве, заданной внешней нормалью \mathbf{n} ; \mathbf{t} – единичный вектор, лежащий в плоскости разрыва и отражающий смещение висячего крыла относительно принятого за неподвижное лежащего крыла; \mathbf{m} – единичный вектор, ортогональный векторам \mathbf{n} и \mathbf{t} .

Данная система выражений справедлива, поскольку векторы \mathbf{t} , \mathbf{p} и \mathbf{n} располагаются в одной плоскости и, следовательно, $(\mathbf{p} \cdot \mathbf{m}) = 0$ [22], а $(\mathbf{p} \cdot \mathbf{t}) > 0$, так как угол между векторами \mathbf{p} и \mathbf{t} всегда острый [11].

Введем в рассмотрение, правый ортогональный декартов базис $\{l_i\}$, $i = 1, 2, 3$. Орт l_3 направим по оси алгебраически минимального напряжения тензора σ (σ_3), орт l_1 – по оси алгебраически максимального напряжения (σ_1) и l_2 – вдоль промежуточной оси (σ_2) (o_2). Компоненты векторов t , m , n в данном базисе обозначим t_i , m_i , n_i , $i = 1, 2, 3$. Условимся, что орт l_3 и вектор n всегда положительные, т.е. образуют с вертикалью острые углы. Тогда, используя известные [17, 21] выражения

$$\sigma_1 > \sigma_2 \geq \sigma_3, \quad \sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3 = 0, \quad (2)$$

$$\mu_0 = 2 [(\sigma_2 - \sigma_3) / (\sigma_1 - \sigma_3)] - 1, \quad -1 \leq \mu_0 \leq 1 \quad (3)$$

$$p = \sigma_1, n_1 l_1 + \sigma_2, n_2 l_2 + \sigma_3, n_3 l_3, \quad (4)$$

перепишем систему (1) в виде

$$(1 - \mu_0) m_1 n_1 = (1 + \mu_0) m_3 n_3, \quad (5)$$

$$(1 - \mu_0) m_1 t_1 > (1 + \mu_0) m_3 t_3. \quad (6)$$

Приведенная система отражает два основных принципа ограничений на знаки направляющих косинусов t_i , m_i , n_i , определяющих ориентацию базиса $\{l_i\}$ относительно тройки векторов t , m , n :

- 1) знаки произведений $m_1 n_1$ и $m_3 n_3$ должны быть одинаковы;
- 2) знаки направляющих косинусов t_1 и n_1 , должны быть одинаковы, а знаки t_3 и n_3 разные.

Первое ограничение вытекает из равенства (5). Оно сформулировано и обосновано ранее [15], но строго формализовано не было, что затрудняло, а иногда и делало невозможным применение рассматриваемой методики при тектонофизической реконструкции. Остановимся подробнее на первом принципе ограничения. Воспользуемся для этого стереографической проекцией верхней полусферы.

Плоскость разрыва и кинематическая плоскость, т.е. плоскость, перпендикулярная к разрыву и включающая вектор смещения [18], делит пространство на четыре квадранта (рис. 1 а). Из выражения (5) вытекает, что орты l_1 и l_3 , определяющие ориентировку главных осей тензора σ , соответственно σ_1 и σ_3 , могут располагаться либо в одном и том же квадранте (оба с одной или оба с другой стороны кинематической плоскости), либо в накрест лежащих квадрантах. Области, в которых непременно должны располагаться оба орта, показаны на диаграмме одинаковой штриховкой. Для удобства последующих рассуждений выделим из них область, включающую центр проекции, и область, ее не включающую; назовем ее периферической областью. Очевидно, что для выделения этих областей нет необходимости использовать данные об относительном направлении смещения блоков вдоль разрыва, достаточным является лишь направление подвижки. Однако какой-либо запретной области для расположения в ней искомым ортов выделить при этом не удастся. Определяется лишь запретный вариант ориентации ортов: они не могут располагаться в смежных, имеющих общую грань квадрантах, поскольку тогда будет нарушено равенство (5). Запретные области выявляются лишь при вводе данных о двух разрывах, каждый из которых вводится двумя плоскостями: плоскостью сместителя и кинематической плоскостью. На рис. 1 б показано, что при пересечении квадрантов от двух разрывов возникает четыре типа областей: 1 и 2 – области, являющиеся центральными или периферическими для обоих разрывов; 3 и 4 – области центральные для первого и периферические для второго разрыва и наоборот.

Очевидно, что искомые орты могут располагаться одновременно только в одной из четырех выявленных областей, заранее нам не известной. В зависимости от расположения в пространстве разрывов и их кинематических плоскостей конфигурация областей может быть разной. Они могут непрерывно проследиваться в виде некоторого пояса через всю проекцию или же образовывать некоторый замкнутый контур. В первом случае в пределах данной области запрета на расположение в них искомым ортов нет: действительно, если в данной области находится один из ортов, то ортогонально к нему в той же области можно всегда найти место для другого (рис. 1 б). Во втором случае в центральной части замкнутой области, с использованием признака перпендикулярности ортов, непременно выделяется некоторая область, запретная для расположения в ней l_1 и l_3 . Для этого необходимо к внешним ребрам, ограничивающим рассматриваемый замкнутый контур, провести перпендикулярные плоскости, которые и выделяют запретную область (рис. 1 б).

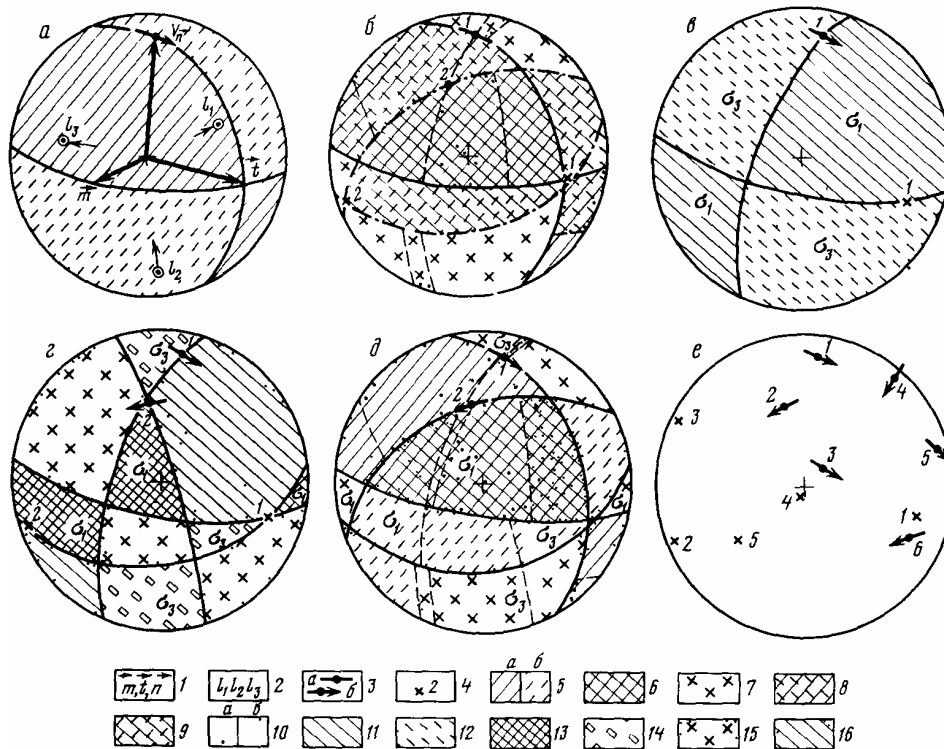


Рис. 1. Стереографический способ определения допустимых вариантов ориентации осей главных нормальных напряжений σ_1 , σ_2 , σ_3 для известной минимальной совокупности направлений сдвиговых подвижек. а, б, в – с использованием первого принципа ограничения для одного (а), и для двух разрывов (б); г, д – с использованием второго принципа ограничения для одного (в) и для двух разрывов (г); д – частная стереограмма распределения всех допустимых и запретных областей σ_1 и σ_2 для двух разрывов; е – кинематическая диаграмма минимального количества разрывов, позволяющих реконструировать характеристики двух наложенных полей тектонических напряжений

Анализируя, таким образом, все четыре типа областей, возникающих при пересечении плоскостей двух разрывов и их кинематических плоскостей, определяем всю совокупность областей запрета для двух разрывов. Рассматривая попарно всю совокупность разрывов, и суммируя запретные области, можно строго и однозначно локализовать искомые орты. Однако поскольку при использовании лишь первого принципа ограничения данные об относительном направлении смещений по разрывам не учитываются, то наименование ортов остается неизвестным.

Для полного решения задачи реконструкции поля напряжений необходимо применение далее второго принципа ограничения. Данный принцип строго обоснован и формализован в работах [12, 13, 15], поэтому здесь ограничимся его графической иллюстрацией (рис. 1 в, г). На рис. 1 д приведены результаты полного определения областей, допустимых к расположению в них осей σ_1 и σ_3 двум разрывам. В корректной форме задача реконструкции поля напряжений сводится к попарному анализу всей совокупности разрывов путем последовательного использования первого и затем второго принципов ограничений, суммированию результатов, к нахождению, таким образом, ориентации осей главных нормальных напряжений и к последующему расчету значений коэффициента Лодэ-Надан (μ_σ) и других характеристик поля напряжений [15].

Рассмотрим наложенные деформационные структуры. Пусть в некотором геологическом объеме изучается множество разрывов, принадлежащих произвольному, но одному и тому же структурному уровню. На стенках разрывов сохранились следы смещений, связанные с действием двух различных, оторванных во времени полей тектонических напряжений. Предположим также, что в рассматриваемом геологическом объеме на данном структурном уровне ориентации осей главных нормальных напряжений в период действия каждого поля напряжений менялись не существенно, а μ_σ мог принимать различные значения. Такое предположение вполне правомерно [20].

На рис. 1 е дано минимальное количество разрывов, позволяющее реконструировать характеристики обоих полей напряжений. В процессе интерпретации данной диаграммы вначале в соответствии с описанной методикой для каждой пары разрывов были составлены частные диаграммы распределения запретных областей σ_1 и σ_3 (рис. 1 д). В дальнейшем каждая из этих областей отдельно суммировалась на трех диаграммах.

Результат суммирования запретных областей приведен на рис. 2 а. Суммирование производилось с преобразованием пиксельного изображения в координатный вид (использовалась сантиметровая и миллиметровая сетка). Узлам сетки, попадающим в запретные области частных диаграмм, присваивалось значение 1. На сводной диаграмме единицы суммировались. В результате обработки на диаграмме выявилось четыре попарно ортогональных минимума, которые отражают соответственно ориентировку двух пар осей главных нормальных напряжений.

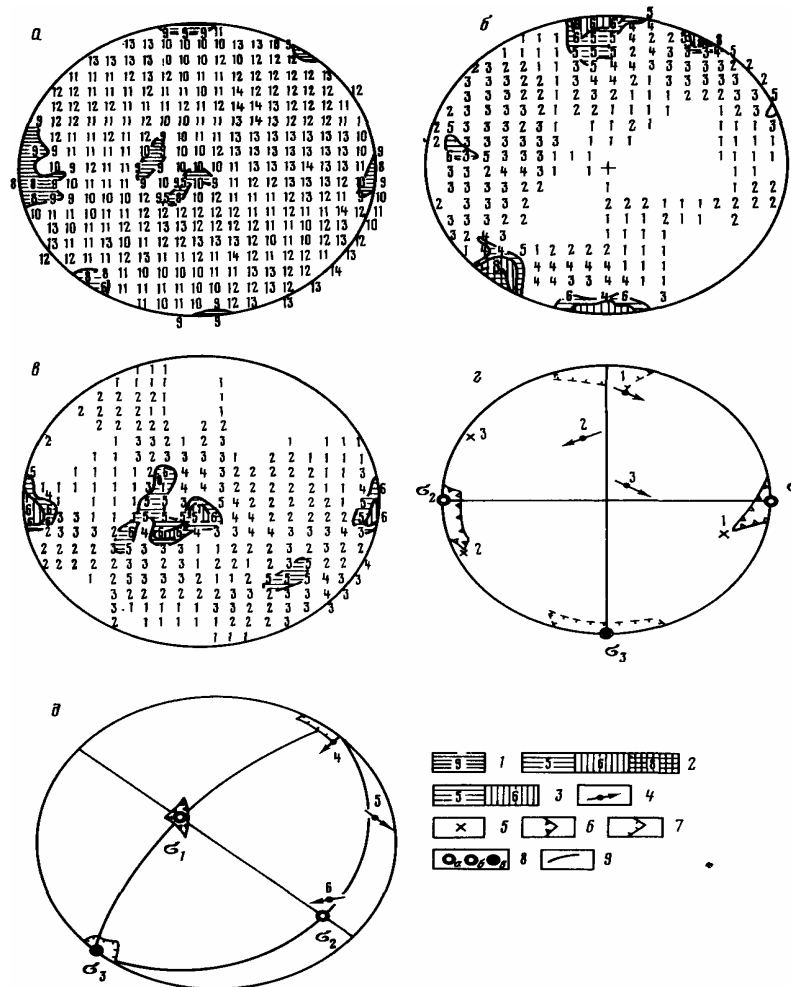


Рис. 2. Стереографические проекции: а – суммирования запретных областей σ_1 и σ_3 ; б – суммирования областей разрешения для σ_3 ; в – суммирования областей растяжения для σ_1 ; з, д – с восстановленными осями главных нормальных напряжений σ_1 , σ_2 и σ_3 первого (г) и второго (д) этапов деформаций, где: 1 – области минимальных концентраций случаев совпадения узлов сантиметровой сетки с запретными областями частных диаграмм; 2, 3 – области максимальных концентраций для σ_3 (2) и σ_1 (3);

4 – направление сдвигового смещения висячего крыла разрыва в точке полюса с определенным знаком смещения; 5 – направление сдвиговой подвижки в плоскости разрыва; 6, 7 – области возможного расположения осей σ_1 (6) и σ_3 (7); 8 – проекции осей главных нормальных напряжений σ_1 (а), σ_2 (б) и σ_3 (в);

9 – ортогональные плоскости действия главных нормальных напряжений σ_1 , σ_2 и σ_3 .

Для определения наименования этих осей аналогично были составлены суммарные диаграммы областей σ_3 (рис. 2 б) и σ_1 (рис. 2 в), взятые из частных диаграмм. На каждой из этих диаграмм выявилось по два основных максимума, сопоставление которых с диаграммой рис. 2 а,

а также с особенностями геологической структуры позволило определить наиболее вероятное положение осей главных нормальных напряжений двух наложенных полей напряжений и далее оптимально разделить смещения, связанные с первым (рис. 2 г) и вторым (рис. 2 д) периодами деформации рассматриваемого объема. Возрастная последовательность этих периодов может быть установлена, естественно, только по относительным возрастным взаимоотношениям разрывов. Используя известные методы [15], можно определить другие характеристики полей напряжений, а, последовательно изучая соседние геологические объемы на соответствующих и различных структурных уровнях, можно получать все более полную характеристику тектонических полей деформаций и напряжений, от особенностей которых зависит решение комплекса вопросов геотектоники, геофизики, поисков и разведки полезных ископаемых, прогноз горно-геологических условий эксплуатации месторождений, а также прогноз АГДЯ.

Возможность разделения и реконструкции полей деформаций и напряжений зависит от степени рассогласования осей деформаций и напряжений, а также от интенсивности их проявления. Принимая во внимание высокую трудоемкость операций, а также необходимость выполнения многократных вычислительных процессов, целесообразно реализовать предложенную методику в виде модели с соответствующим программно-аппаратным обеспечением, предусмотрев возможность вывода результатов реконструкции полей деформаций и напряжений на географическую карту района.

Следовательно, разработка системы принятия инженерных, экономических, экологических, а также социально-политических решений по развитию подземной и поверхностной инфраструктуры региона должны выполняться с учетом предложенной компьютерной модели кинематического анализа разновозрастных тектонических и техногенных полей деформаций и напряжений, и ее реализации в виде программного продукта.

Библиографический список

1. Шамаев В. В. Исследование деформационных полей в массиве горных пород при отработке месторождений полезных ископаемых в сложных геотехнических условиях Центрального района Донбасса. // Препринт ИПКОН АН СССР. – Москва – 1988 – 43с.
2. Шамаев В. В. Влияние технологии извлечения полезных ископаемых на состояние геодформационного поля и деформирование горных пород. // Физика и техника высоких давлений. Киев, Наук. думка. – 1989 – № 32. – С. 57–66.
3. Шамаев В. В., Стрельцов В. А. Концепция геодформационных полей в физике Земли. // Физика и техника высоких давлений. Киев, Наук. думка–1990 – № 33. – С. 48–58.
4. Шамаев В. В., Рязанцев Н. А. О природе формирования деформационных структур в массиве горных пород и их связи с аномальными геодинамическими явлениями. // Физика и техника высоких давлений. Киев, Наукова думка. – 1990 – № 34. – С. 46–55.
5. Шамаев В. В., Шестопалов А. В. Использование метода аналогий для развития теории газодинамических явлений. // Прогноз и предотвращение опасных газопроявлений при разработке месторождений. М.: ИПКОН АН СССР – 1990 – С. 46–59.
6. Шамаев В. В. Развитие концепции деформационных структур в проблеме контроля и прогноза состояния массива горных пород. // Физика и техника высоких давлений. Киев, Наукова думка. –1992 – Т. 2 – № 1. – С. 58–69.
7. Шамаев В. В. Роль геомагнитных факторов в генезисе аномальных геодинамических явлений. // В кн.: Физика магнитных явлений – Донецк – 1994 – С. 183–185.
8. Шамаев В. В., Шестопалов А. В. Некоторые особенности динамики формирования геометрических параметров полости выброса газа и горной массы. // В кн.: Актуальные вопросы безопасности горных работ. – ИПКОН АН России – 1994 – С. 72–81.
9. Корчемагин В. А., Шамаев В. В., Павлов И. О., Сокуренок М. В. Тектонические поля деформаций и напряжений в развитии подземной инфраструктуры Донецко -Макеевского района. // Сборник научных трудов Национальной горной академии Украины. – Днепропетровск. – 1998 – Т.3. – С. 158–162.
10. Кузнецов О. Л., Симкин Э. М. Преобразование и взаимодействие геофизических полей в литосфере // М.: Недра, 1990 – 269 с.
11. Батдорф С. Б., Будянский Б. В кн.: Механика. М.:ИЛ, 1961 – № 1 – С. 71.
12. Гзовский М. В. Основы тектонофизики. // М.: Наука, 1975 – 347 с.
13. Гущенко О. И. – ДАН, 1973, – т. 210, – № 2.
14. Гущенко О. И. В кн.: Поля напряжений и деформаций в литосфере. М.: Наука, 1979.
15. Костров Б. В. Механика очага тектонического землетрясения. М.: Наука, 1975 – 188 с.