

Было проведено несколько расчетов на реальные взрывные сейсмические воздействия. Все воздействия модулировались по амплитуде до величины эквивалентной ускорению в 1 м/с<sup>2</sup> при сохранении частотного спектра.

Анализ показал, что дополнительные мембранные напряжения в обечайке резервуара по критерию Губера-Мизеса, обусловленные гидродинамическим давлением жидкости, достигают 15-22% от уровня напряжений при гидростатическом давлении. Высота волны не превышает 6 см, что позволяет не рассматривать в качестве расчетного события удар волны в крышу резервуара.

Таким образом, несущую способность резервуаров, находящихся в зоне сейсмического действия массовых промышленных взрывов, если интенсивность последних достигает семи баллов по шкале МСК, следует определять с учетом дополнительных напряжений. При наличии концентраторов напряжений следует учитывать скоростной режим загружения, влияющий на возможность развития пластических деформаций. В первую очередь, это требование относится к конструктивным формам пониженной хладостойкости.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Единые правила безопасности при взрывных работах. ПБ 13-407-01. – СПб.: ДЕАН, 2002. 240с.
2. СНиП II-7-82\*. Строительство в сейсмических районах. /Минстрой РФ. – М.: ГП ЦПП, 1996. 52с.
3. Гольденблат И.И., Николаенко Н.А. Расчет конструкций на действие сейсмических и импульсивных сил. – М.: Госстройиздат, 1961. 319 с.
4. Петров А.А. Оценка сейсмической реакции резервуаров с жидкостью // Промышленное и гражданское строительство. 1993. №5. с.3-4.

□ Авторы статьи:

Протасов  
Сергей Иванович  
- канд.техн.наук, директор фирмы «КузбассНИИОГР»

Иванов  
Вадим Васильевич  
- докт.техн.наук, проф. каф. теоретической и геотехнической механики

Новиньков  
Алексей Геннадьевич  
- канд.техн.наук, доц. каф. строительных конструкций

**УДК 622.831**

**А. Н. Соловицкий**

## О ЗОНИРОВАНИИ БЛОЧНОГО МАССИВА ГОРНЫХ ПОРОД

Проведение зонирования блочного массива горных пород обеспечивает упорядочение геомеханического обеспечения геотехнологии освоения недр. Для учёта результатов зонирования предлагается следующая классификация:

- выделение зон геодинамической активности;
- выделение напряженных зон;
- выделение энергетически аномальных зон.

Предложенная классификация отражает исторический и технический аспекты развития данного вопроса [1,3-5].

Выделение зоны геодинамической активности производится по амплитудам движений блоков; выполненный анализ [1] показывает, что данный вид зонирования наиболее распро-

странен в настоящее время при освоении газовых и нефтяных месторождений, на которых получен ряд экспериментальных закономерностей.

Так, например, на основе ежегодных гравиметрических повторных наблюдений в течение 5 лет в Припятской впадине (нефтяные и газовые месторождения) установлено [2], что в зоне Речинского разлома годовые изменения локальных аномалий силы равны:

$-0,10 \cdot 10^{-5}$  мс<sup>-2</sup> за период исследований, равный 1 году;

$-0,04 \cdot 10^{-5}$  мс<sup>-2</sup> при периоде исследований 2,3 и 4 года.

Выделение напряженных зон блочного массива горных пород одна из главных задач зонирования при освоении угольных и рудных месторож-

дений. В зонах, где величины напряжений значительны, достаточно мощный взрыв может послужить толчком, инициирующим проявление геодинамических явлений, мощность и последствия которого зависят от накопленной потенциальной энергии. Последствия проявления геодинамических явлений особенно серьёзные в случае неоднородной блочной структуры массива горных пород.

Следует отметить, что в нетронутом блочном массиве горных пород не отмечается проявление геодинамических явлений, обусловленных естественными геодинамическими процессами, при скоростях деформации земной коры, оцениваемых  $1 \cdot 10^{-5}$  -  $1 \cdot 10^{-6}$  в год [1]. Следовательно, в напряженных зонах скорости деформаций

земной коры выше данных значений, что может быть положено в основу критерия формирования напряженных зон.

При выделении участков земной коры, где происходит формирование напряженных зон, в качестве теоретической основой можно принять две гипотезы, исследования которых имеет фундаментальный характер:

- оценка медленных скоростей деформаций земной коры, не приводящих к проявлению геодинамических явлений;
- проверка гипотезы преемственности новейших движений блоков земной коры в современный период.

Классификация геодинамических явлений, проявление которых отмечено при освоении месторождений, выполнена во ВНИМИ [3], каждое из них характеризуется определенным энергетическим классом. Следовательно, анализ полей напряжений должен сопровождаться оценкой накопления потенциальной энергии, которая позволит оценить возможный вид геодинамический явлений и масштабы их проявлений.

Оценка накопленной потенциальной энергии и её связи с проявлением геодинамических явлений является актуальной проблемой, изучению которой посвятили свои научные труды многие отечественные и зарубежные учёные, в том числе: Ш.М. Айталиев, И.Т. Айтматов, А.С. Алексеев, Ю.Д. Буланже, П.В. Егоров, К. Касахара, С.И. Кисельман, В.А. Квочин, А.А. Козырев, С.А. Константинова, М.В. Курленя, О.А. Кучай, А.В. Леонтьев, А.Б. Макаров, Л.А. Назарова, Н.И. Николаев, П.Н. Николаев, В.Н. Опарин, А.А. Панжин, А.К. Певнев, И.М. Петухов, Х. Рамберг, М.А. Садовский, Д. Теркот, И.А. Турчанинов, Е.И. Шемякин, С.И. Шерман, Дж. Шуберт, А.С. Ягунов, Д.В. Яковлев и др.

Изменение потенциальной энергии для блочного массива горных пород единичного объ-

Таблица  
Реализация принципа интеграции в интегральном методе контроля напряженного состояния блочного массива горных пород

Наименование параметров	Интеграция с методами
Вертикальные горизонтальные движения (смещения)	Геодезический, спутниковый, маркшейдерский
Изменения во времени геофизических полей	Электрометрический, магнитный, гравиметрический
Деформационные характеристики	Геомеханические, геофизические
Энергетические характеристики	Микросейсмический

ёма равно [1] :

$$dE_p[t-t_0] = \gamma[t] V[t] g[t] dh[t-t_0] + V[t] dp[t-t_0]. \quad (1)$$

Представление изменение потенциальной энергии для блочного массива горных пород единичного объёма (1) позволяет перейти к оценке соответствующих изменений для объема  $V[t]$  путем нахождения интеграла вида

$$dE_p[t-t_0] = \iiint \sigma_i[t-t_0] \varepsilon_i[t-t_0] dV, \quad (2)$$

где  $\sigma_i[t-t_0]$  - величины напряжений блочного массива горных пород за период  $t-t_0$ ;  $\varepsilon_i[t-t_0]$  - величины деформаций массива горных пород за период  $t-t_0$ .

Особенно важной характеристикой аномальной энергетической зоны является предельное энергонасыщение. Предельный запас упругой энергии для блока объёмом  $V$  равен [4]:

$$E_0 = e_y V, \quad (3)$$

где  $e_y$  - предельная энергоёмкость. Предельная энергоёмкость в общем случае функционально зависит от предела прочности породы на одноосное сжатие  $\sigma_{cjk}$ .

Рассмотрим методологическую и информационную основу зонирования блочного массива горных пород

Выделение всех видов зон предлагается проводить в рамках интегрального метода контроля напряженного состояния блочного массива горных пород, который представляет оптимально спроектированную на принципах интеграции (таблица), преемственности и поэтапности систему, характеризующуюся выделением и идентификацией блоков земной коры,

их структурной аппроксимацией, регистрацией их формирования и взаимодействия и учета влияния результатов прикладного геодинамического анализа.

Идентификация блоков - это определение их границ на дневной поверхности и в горных выработках по результатам геодинамического районирования месторождений полезных ископаемых, которое проводится в соответствии с [4,5].

Теоретической основой интегрального метода контроля напряженного состояния блоков, обусловленного их взаимодействием и формированием, является проверка двух фундаментальных гипотез. Поэтому после идентификации границ блоков на земной поверхности и в горных выработках для контроля напряженного состояния блочного массива горных создается система регистрации взаимодействия блоков земной коры. На основе данной системы осуществляется мониторинг напряженного состояния блочного массива горных пород.

При создании системы регистрации контроля напряженного состояния блоков земной коры интегральным методом учитываются форма и пространственное положение блоков, для этого создаются специальные геодинамические полигоны (ГДП), построения на которых обеспечивают их структурное моделирование и контроль в пространстве и времени.

Исходя из особенностей блочного строения земной коры и её выраженности в рельфе земной поверхности, рекомен-

дуется такая схема расположения пунктов, которая обеспечивает структурное моделирование блоков земной коры [1]. Каждый блок предлагается аппроксимировать объёмной моделью. При этом наибольшая отметка является его вершиной.

Такая аппроксимация позволяет оценивать напряжения (деформации) не в какой-то плоскости, а на глубине  $h$ , характеризующей центр тяжести этого построения. Проведение прикладного геодинамического анализа на основе полученных величин напряжений позволяет оценить формирование структур блоков и установить тип их взаимодействия.

Для подработанного массива горных пород предлагается комбинированная схема построений, состоящая из пунктов на поверхности и в горных выработках.

Основными критериями проведения мониторинга по результатам постановки повторных инструментальных наблюдений являются:

- их точность, необходимая для выявления малых скоростей

деформаций земной коры, не приводящих к проявлению геодинамических явлений, величины которых оцениваются в  $10^{-4}$ - $10^{-6}$  в год;

- совместное определение вертикальных и горизонтальных движений блоков земной коры;
- интегральность разнородных повторных наблюдений.

В основу проверки нулевой гипотезы положен критерий

$$\frac{\Delta E[t-t_0]}{m\Delta E[t-t_0]} \geq 3, \quad (4)$$

где

$$\begin{aligned} m\Delta E[t-t_0] = \\ = \sqrt{m^2 E[t] + m^2 E[t_0]}; \end{aligned}$$

$mE[t], mE[t_0]$  - среднеквадратические погрешности определения компонент деформации  $E[t-t_0]$  в эпохи  $t$  и  $t_0$ .

Выполнение критерия (4) характеризует чувствительность регистрации взаимодействия блоков на основе повторных высокоточных инструментальных наблюдений, которая оценивается в 0,997. Уменьшение величины отношения в (4) уменьшает доверительную вероятность.

Математическая обработка результатов комплексных высокоточных инструментальных наблюдений состоит из следующих этапов [1]:

- вычисление изменений координат во времени и ускорения свободного падения для каждого пункта ГДП;

- определение тензора деформаций и напряжений для каждого блока;

- определение скоростей деформаций для каждого блока;

- определение главных значений деформаций и напряжений для каждого блока;

- ранжирование компонент деформаций (напряжений).

Реализация системного подхода при создании интегрального метода контроля напряженного состояния блочного массива горных пород позволяет получить как количественную, так и качественную информацию, необходимую для зонирования блочного массива горных пород, что обеспечивает решение широкого круга задач геомеханического обеспечения геотехнологии освоения недр.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Соловицкий А.Н. Интегральный метод контроля напряженного состояния блочного массива горных пород / Под ред. П.В. Егорова. –Кемерово: ГУ КузГТУ, 2003.- 260 с
2. Волгина А.И. Неприливные изменения гравитационного поля в Припятской Владине/ Волгина А.И., Донабедов А.Т., Кононков В.Ф., Сидоров В.А. //Повторные гравиметрические наблюдения: Сб. науч. трудов. - М.: Изд-во ВНИИГеофизики, 1981.-С.112-117.
3. Яковлев Д.В. Развитие школы ВНИМИ // Маркшейдерский вестник. - 2003.- №3. – С. 24-31.
4. Фокин В.А. Оценка энергетических параметров геодинамических явлений//Известия вузов. Горный журнал. -2001. -№6. - С.1-5.
5. Геодинамическое районирование недр. - Л.: ВНИМИ,1990.-129 с.
6. Инструкция по безопасному ведению горных работ на рудных и нерудных месторождениях, объектах строительства подземных сооружений, склонных и опасных по горным ударам (РД 06-329-99)/ Колл. авт.-М.: ГП НТЦ по безопасности в промышленности Госгортехнадзора России, 2000.-66 с.

□ Автор статьи:

Соловицкий  
Александр Николаевич  
- канд.техн.наук, доц. каф. марк-  
шейдерского дела и геодезии