СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Андреев А.Н., Немировский Ю.В.* Многослойные анизотропные оболочки и пластины. - Новосибирск: Наука, 2001. 288 с.

2. *Андреев А.Н.* О численном интегрировании уравнений осесимметричного изгиба слоистых оболочек вращения методом инвариантного погружения. -Сб. научных трудов АН СССР Сиб. отд-ие Инт. гидродинамики -Новосибирск, 1985. вып. 73, с137—148 с.

3. *Андреев А.Н., Немировский Ю.В.* Численный анализ напряженно-деформированного состояния слоистых оболочек вращения методом инвариантного погружения. -Изв АН АрмССР Механика, 1989. Т. 42, № 1, с137—148 с.

4. *Богданович А.Е.* Нелинейные задачи динамики цилиндрических композитных оболочек. -Рига: Зинатне, 1987. 295 с.

5. *Бронштейн И. Н., Семендяев К. А.* Справочник по математике -Л.: Гостехиздат, 1948, 556 с.

6. *Гольденвейзер А.Л., Лидский В.Б., Товстик П.Е.* Свободные колебания тонких упругих оболочек. -М.: Наука, 1979. 383 с.

7. *Михлин С.Г.* Лекции по линейным интегральным уравнениям. -М.: Наука, 1959. 655 с.

8. *Михлин С.Г.* Вариационные методы в математической физике. -М.: Наука, 1970. 512 с.

9. *Канторович Л.В., Акилов Г.П.* Функциональный анализ. -М.: Наука, 1984. 752 с.

10. *Петрушева И. И.* Свободные колебания упругой многослойной цилиндрической оболочки. – Вестн.КузГТУ, 2003, №3, с 8—17

11. *Петрушева И. И.* Свободные колебания слоистой упругой цилиндрической оболочки. / Труды XVIII межреспуб. конференции Кемерово, 1-3 июля 2003 -Новосибирск, 2003, с140—145

12. *Смирнов В.И.* Курс высшей математики. -М.: Наука, 1974. Т.3. Ч.2. -672 с.

13. *Смирнов В.И.* Курс высшей математики. -М.: Наука, 1974. Т.4. Ч.1,2. -880 с.

14. *Смирнов В.И.* Курс высшей математики. -М.: Наука, 1974. Т.1. -480 с.

15. *Смирнов В.И.* Курс высшей математики. -М.: Наука, 1974. Т.2. -655 с.

16. *Самарский А.А.* Теория разностных схем. -М.: Наука, 1977. -656 с.

17. *Тимошенко С.П., Войновский-Кригер С.* Пластинки и оболочки. -М.: Наука, 1966. 635 с.

18. *Тимошенко С.П.* Курс сопротивления материалов -Л.: Гос. изд-во им. Н. Бухарина, 1929. 587 с.

19. *Уилкинсон Дж.* Алгебраическая проблема собственных значений. -М.: Наука, 1970.

Автор статьи:

Петрушева
Ирина Ивановна
- старший преподаватель каф. прикладной математики

УДК 519. 21

А.В. Бирюков

СЕЙСМИЧЕСКАЯ АНИЗОТРОПИЯ ПОРОДНЫХ МАССИВОВ

Характерной особенностью всех породных массивов является наличие естественных трещин, рассекающих массивы на структурные блоки или естественные отдельности. Геометрическая картина трещиноватости зависит от геолого-генетических факторов, влияющих на процесс образования трещин.

В осадочных породах трещины образуют системы, в каждой из которых случайная вариация параметров пространственной ориентировки трещин незначительна, т. е. плоскости трещин практически можно считать параллельными. В магматических породах системы трещин не наблюдаются, трещиноватость хаотична.

При прохождении через массив сейсмической волны трещина является своего рода экраном, на котором происходит скачкообразное снижение скорости волны и напряжения на ее фронте. Следовательно, эти параметры волны зависят от частоты трещин в заданном направлении, что служит причиной сейсмической анизотропии породного массива.

Рассмотрим массив, рассеченный m системами плоскостей-трещин, полагая плоскости в каждой системе параллельными. Пространственную ориентировку трещин i- й системы определяет вектор $\overline{n}_i$, ортогональный плоскостям системы. Модуль этого вектора положим равным частоте трещин данной системы, т. е. среднему числу трещин в направлении $\overline{n}_i$, приходящемуся на единицу длины.

Частота трещин в произвольном направлении, заданном единичным вектором $\overline{e}$, равна проекции вектора $\overline{n}_i$ на данное направление, т. е. скалярному произведению $(\overline{n}_i\ \overline{e})$. Следовательно, частота трещин всех систем в направлении $\overline{e}$ равна скалярному произведению $(\overline{n}_i\ \overline{e})$, где вектор $\overline{n}$ есть сумма векторов $\overline{n}_i\ (i = 1,2,..., m)$. Величина $(\overline{n}\ \overline{e})$ принимает наибольшее значение в направлении $\overline{n}$ и наименьшее (равное нулю) - в направлении, ортогональном вектору $\overline{n}$.

Поскольку векторы $\vec{n}_i$ допускают независимо друг от друга изменение направления на противоположное, то их сумма порождает 2^{m-1} векторов $\vec{n}$. Выбирая из этого множества вектор $\vec{n}$ с наибольшим модулем, получим направление, в котором частота трещин, равная модулю выбранного вектора, имеет наибольшее значение.

Пусть, например, при m=3 векторы $\overline{n}_1, \overline{n}_2, \overline{n}_3$ в некоторой координатной системе имеют координаты соответственно (-2, 1,3); (1, -3,1); (3, -1,-2). Для суммы этих векторов имеем четыре комбинации

$$\overline{n}_1 + \overline{n}_2 + \overline{n}_3, \quad \overline{n}_1 + \overline{n}_2 - \overline{n}_3,$$
$$\overline{n}_1 - \overline{n}_2 + \overline{n}_3, \quad \overline{n}_1 - \overline{n}_2 - \overline{n}_3$$

с координатами соответственно (2,-3,2); (-4,-1,6); (0,3,0); (-6,5,4). Наибольшим модулем, равным корню квадратному из 77, обладает вектор $\overline{n} = \overline{n}_1 - \overline{n}_2 - \overline{n}_3$, определяющей направление с наибольшей частотой трещин.

В полевых условиях для определения направления в породном массиве обычно используют угловые параметры ориентировки – азимут и угол наклона к горизонтальной плоскости. При этом в декартовой системе координат принимают следующие направления осей: ось x направлена на восток, ось y - на север, ось z - вверх и, следовательно, для вектора $\overline{n}_i$ имеем

$$x_i = |\overline{n}_i| \sin\varphi_i \sin\Psi_i,$$
$$y_i = |\overline{n}_i| \sin\varphi_i \cos\Psi_i,$$
$$z_i = |\overline{n}_i| \cos\varphi_i,$$

где φ_I - угол между осью z и вектором $\overline{n}_i$, а Ψ_I - угол между осью y и проекцией вектора $\overline{n}_i$ на плоскость xy, отсчитываемый по часовой стрелке.

Обратное преобразование координат имеет вид:

$$\varphi_i = arccos(z_i / |\overline{n}_i|),$$
$$\Psi_i = arctg(x_i / y_i).$$

Отметим, что углы φ и Ψ являются соответственно углом наклона плоскостей – трещин к горизонтальной плоскости и азимутом падения плоскостей.

Для установления взаимосвязи между частотой трещин и скоростью упругой волны в массиве проведено круговое сейсмическое зондирование осадочных пород угольных месторождение Кузбасса. Объектами зондирования выбраны массивы песчаников крепостью 100 МПа, рассеченные тремя системами трещин, включая плоскости осадконакопления. Результаты эксперимента приведены в таблице, где r_1, r_2 - экстремальные значения частоты трещин, м$^{-1}$; Ψ_1, Ψ_2 - азимуты соответствующих направлений, град.; v_1 , v_2 - скорости упругой волны, м/сек.

В результате статистического анализа приведенных данных установлены зависимости:

$$v_1=1600\text{-}180\ r_1 ,$$
$$r_1 =9 - v_1/180 ;$$
$$v_2=2300\text{-}370\ r_2 ,$$
$$r_2 =6 - v_2/370 .$$

Для средних значений

$$r = (r_1 + r_2)/2; v = (v_1 + v_2)/2$$

имеем

$$v =1800\text{-}200r , \quad r=9\text{-} v/2 .$$

Величину $1/r$ можно рассматривать как оценку средней крупности естественных отдельностей в породном массиве.

Таблица

r_1	5,2	3,4	2,0	1,8
Ψ_1	150^0	85^0	120^0	105^0
v_1	700	950	1250	1350
r_2	3,7	2,4	1,4	1,3
Ψ_2	55^0	0^0	30^0	20^0
v_2	980	1300	1750	1900

Эта характеристика служит основным признаком при классификации пород по естественной блочности и, следовательно, может быть получена сейсмическим зондированием массива.

Как видно из таблицы, угол между направлениями экстремальных значений частоты трещин близок к прямому, а отношения r_1/ r_2 и v_2 / v_1 практически постоянны и составляют 1/4. Поэтому вектор $\overline{n}$ дает всю необходимую информацию для прогнозирования естественной блочности и сейсмической анизотропии породных массивов

Автор статьи:

Бирюков
Альберт Васильевич
- докт.техн.наук, проф., зав.каф.
высшей математики