

МЕТОДИКА РЕКОНСТРУКЦИЙ ПОЛЕЙ НАПРЯЖЕНИЙ НА ОСНОВЕ СТРУКТУРНЫХ КАРТ СЕЙСМИЧЕСКИХ ГОРИЗОНТОВ

Ю.А. Ужегова, Д.В. Коношонкин

Научный руководитель доцент В.П. Меркулов

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
г. Томск, Россия

Согласно тенденциям последних десятилетий, по причине истощения многих месторождений, разработка месторождений с трудно извлекаемыми запасами является объектом повышенного интереса. Карбонатные трещиноватые отложения палеозойского возраста можно отнести именно к числу таковых по причине недостаточно точных исследований проводимых с кернавым материалом из-за его плохой сохранности после извлечения из скважины. Для более эффективного процесса разработки и прогнозирования открытых трещин необходимо оценить напряженное состояние горных пород. Ранее это было возможно сделать лишь для открытых территорий с естественными обнажениями, где легко можно замерить элементы залегания борозд, на поверхности зеркала скольжения, образованного вдоль плоскости разлома, а также отследить амплитуду перемещений скользящих блоков. Однако как же быть с закрытыми территориями, у которых нет выхода на дневную поверхность? Основным инструментом для оценки напряженных состояний являются интерпретированные сейсмические данные.

Оценка напряженного состояния имеет интерес в первую очередь с точки зрения прогнозирования открытой трещиноватости, по которой осуществляется миграция углеводородов УВ, и как результат дает нам возможность спрогнозировать залежь и подобрать наиболее эффективный метод разработки.

В данной статье авторами предлагается рассмотреть методику расчета локального стресс-состояния при анализе структурных карт сейсмических горизонтов, используемую для реконструкции кинематических характеристик разрывных нарушений и поля палеонапряжений для Урмано-Арчинской площади (Нюрольской впадины), предлагаемую Москаленко А.Н., Худoley А.К., Жуковым В.В., Деминым В.Ю., Вериним А.В. (2015).

Метод основывается на сейсмических данных (профили и структурные карты сейсмических горизонтов), по которым можно выделить разрывные нарушения и относительные перемещения блоков, сопряженных с данными разломами, таким образом определить вектор перемещения, используемый в дальнейшем для расчета ориентации главных напряжений. Вектором напряжения является направленный отрезок, соединяющий два разорванных разломом фрагмента, идентифицируемых в структурной форме (антиклинальной или синклинальной) по сейсмическим данным, выделяемым как в висячем, так и в лежащем крыле. Подобная идентификация нередко оказывается спорной, поэтому необходимо принять ряд допущений, позволяющих ограничить те вектора перемещений, выделение которых является сомнительным. Таким образом, учитываются вектора напряжений, удовлетворяющие следующим условиям:

- 1) вектора напряжений имеют сходную ориентировку на разных сейсмических горизонтах, пересекаемых одним разломом;
- 2) вектора напряжений имеют сходную ориентировку в нескольких соседних структурных формах, выделенных в пределах одного сейсмического горизонта и пересекаемых одним разломом [1].

Для векторов перемещений, удовлетворяющих данным условиям, замеряются элементы залегания, которые, наряду с элементами залегания поверхности разлома, в дальнейшем используются для расчета ориентации главных напряжений (рис. 1).

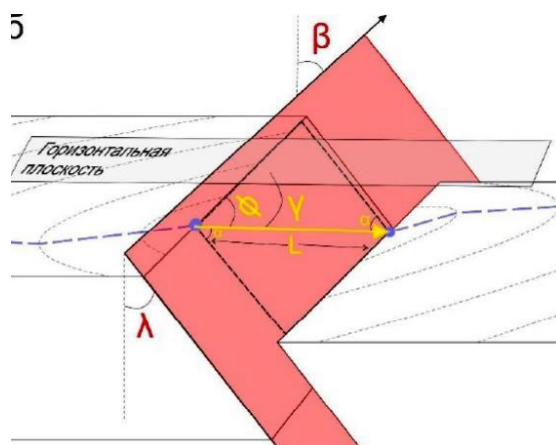


Рис. 1. λ – угол падения плоскости разлома, β – азимут простираения плоскости разлома, ϕ – угол наклона (rake) вектора перемещения, γ – угол погружения вектора перемещения, L – длина вектора перемещения, α – угол между вектором перемещения и направлением падения поверхности разлома

Используя полученные на предыдущем этапе данные, можно рассчитать тензор напряжений. Данные расчеты можно реализовать в ряде программных продуктов, среди которых мы выделяем FaultKin и StressGeol, где реконструкция палеонапряжений основывается на данных об ориентировке векторов перемещений вдоль плоскостей разрывов и трещин.

Алгоритм программы StressGeol основан на методе катакластического анализа совокупности разрывных смещений, учитывающей наличие дефектов прочности в геологической среде и взаимное влияние разрывов

(Ребецкий, 1997, 2003, 2007), [3]. В рамках данного анализа подыскивается такое стресс-состояние, для которого каждый скол из выборки приводит к уменьшению упругой энергии (вектор смещений и направление касательного напряжения на плоскости скола должны составлять острый угол), а на совокупности сколов из выборки достигается максимальный сброс упругой энергии [2]. Основываясь на данных положениях механики, вся совокупность данных по трещинам сдвига подразделяется на выборки по принципу однородности, тем самым позволяя выделить несколько стресс-состояний из одной исходной популяции данных, формируя при этом две и более однородных групп трещин.

В отличие от вышеописанного программного продукта, в программе FaultKin расчет стресс-состояний осуществляется локально по каждому вектору перемещения, где оси максимального (σ_1) сжатия и девиаторного растяжения (σ_3) (минимального сжатия) лежат в плоскости, проходящей через вектор перемещения перпендикулярно плоскости разлома, и ориентированы под углом 45° к вектору перемещения. Данный метод разработан Р. Альмендингером (1990), в его основе лежит идея, что по величине разлома можно спрогнозировать величину сдвига, поэтому основная идея метода заключается в том, чтобы установить некоторый коэффициент взвешивания, который бы охватывал и площадь разлома, и среднюю величину сдвига [5]. Таким параметром является геометрический момент (Mg) (формула 1), учитывающий длину (h) и ширину разлома (L), а также сдвиговую компоненту (Δu) (рис. 2).

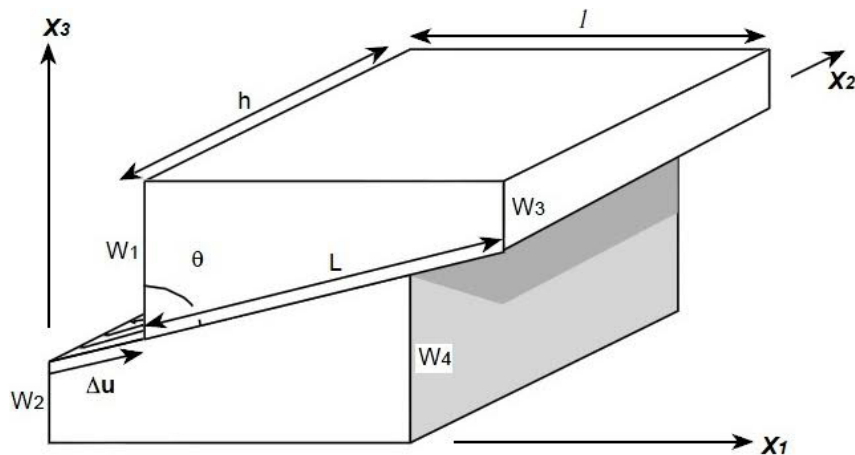


Рис. 2. Блок горной породы со сдвигом

Таким образом, градиент деформации сдвига (e_{ij}) учитывает геометрию разлома (формула 2: V – объем блока, W – высота блока, l – ширина блока, θ – угол падения плоскости разлома), и при анализе нескольких трещин наибольший вклад в ориентацию главных напряжений внесет больший разлом.

$$e_{ij} = \begin{bmatrix} -\sin \theta \cos \theta & \sin^2 \theta \\ -\cos^2 \theta & \sin \theta \cos \theta \end{bmatrix} \times \frac{M_g}{V} \quad (1)$$

$$e_{ij} = \begin{bmatrix} -\sin \theta \cos \theta & \sin^2 \theta \\ -\cos^2 \theta & \sin \theta \cos \theta \end{bmatrix} \times \frac{M_g}{V} \quad (2)$$

Графический анализ данного метода был хорошо описан Парфеновым В.Д. (1981, 1984), где прототипами векторов перемещения являются борозды скольжения, и где не учитывается геометрия разлома (рис. 3).

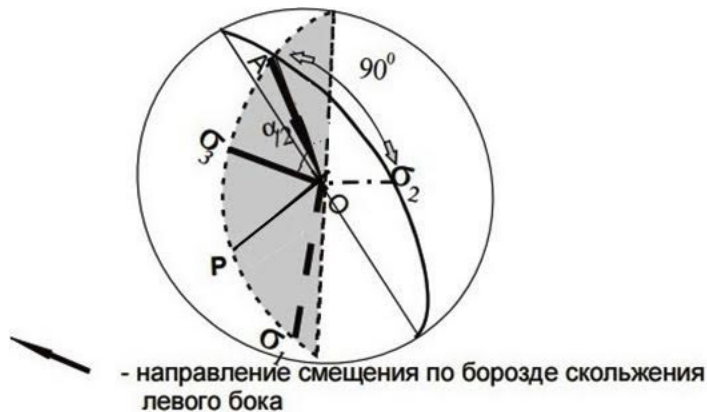


Рис. 3. Схема построения осей напряжения

Для определения положений осей σ_3 и σ_1 необходимо построить проекцию плоскости разлома (трещины) (I) с линией вектора перемещения на данной плоскости, по известным элементам залегания (линия АО), а также кинематическую плоскость (II), проходящую через две точки – полюс трещины (P) и проекцию вектора перемещения А. В условиях сопряженных трещин при условии, что плоскость II перпендикулярна плоскости I, неизвестная вторая трещина обязательно пройдет через полюс первой, поэтому одна из осей находится на середине дуги AP, т.е. на расстоянии 45° от трещины, как биссектриса угла между данной трещиной и второй (сопряженной) [2].

Вторая из осей лежит на расстоянии 90° от первой – по дуге меридиана кинематической плоскости. Для установления индексов этих осей необходимо учесть направление смещения по борозде. Если в секторе дуги плоскости II, где находится проекция оси, смещение блока направлено к центру сетки (квадрант сжатия), построенная ось будет σ_3 . Тогда в смежном секторе будет находиться σ_1 [2].

Ось σ_2 всегда перпендикулярна направлению смещения по борозде и лежит в плоскости трещины (совпадая с линией пересечения сопряженных трещин). Для построения ее проекции достаточно отложить угол 90° от проекции борозды по дуге меридиана плоскости трещины (I). Пространственная схема взаимного положения структурных элементов, направления смещений и осей напряжений показана на этом же рисунке. При учете известного угла скальвания пород (α) при построении оси σ_3 от проекции борозды по дуге кинематической плоскости откладывается угол $\varphi = 45 - \alpha/2$. Проекция оси σ_1 также получается при откладывании прямого угла от проекции оси σ_3 по дуге кинематической плоскости. Построенные оси напряжений соответствуют квазиглавному напряжениям и не в полной мере отражают реальную ситуацию. В областях с несколькими трещинами разных масштабов ориентация главных осей напряжений может быть различна, поэтому необходимо произвести аналогичные построения для группы трещин, для которых центры максимумов разброса построенных осей и будут являться истинными проекциями осей напряжений [2]. При использовании метода Альмендингера разлом с большим значением геометрического момента (разлом большего масштаба) вносит больший вклад в определение ориентации главных нормальных напряжений.

Подводя итог всему вышесказанному, можно сделать вывод, что каждый из рассматриваемых методов имеет свои слабые стороны. Наиболее оптимальным решением для прогнозирования трещин в карбонатных коллекторах является комплексный подход с использованием нескольких методов, что поможет снизить неточности в интерпретации. Примером тому может служить работа Москаленок А.Н. и др. (2015), где использовались программы, основанные на разных теоретических методах. При помощи программы StressGeol совокупность данных была разбита на выборки по принципу однородности, а дальнейшие расчеты ориентировки осей главных напряжений производились в программе FaultKin [1].

Литература

1. Москаленко А.Н., Худoley А.К., Жуков В.В., Демин В.Ю., Верин А.В. Реконструкция кинематических характеристик разрывных нарушений и поля палеонапряжений для Урманно-Арчинской площади (Нюрольская впадина) // Нефтегазовая геология. Теория и практика, 2015. – Т. 10 – № 2. – С. 16
2. Парфенов В.Д. К методике тектонофизического анализа геологических структур // Геотектоника, 1984. – №1. – С. 60 – 72.
3. Ребецкий Ю.Л., Кучай О.А., Сычева Н.А. Метод катакластического анализа разрывных нарушений и результаты расчетов современного напряженного состояния вблизи границ плит и для внутриплитовых складчатых орогенов // Материалы Всероссийской конференции «Тектонофизика и актуальные вопросы наук о Земле. К 40-летию создания М.В. Гзовским лаборатории тектонофизики в ИФЗ РАН, 2009. – С. 340 – 366
4. Allmendinger R.W., Gephart J.W., Marrett R.A. Notes on Fault Slip Analysis // Prepared for the Geological Society of America Short Course on “Quantitative Interpretation of Joints and Faults” November 4 & 5, 1989. – P. 59