

МЕТОДЫ И ТЕХНОЛОГИИ ОСВОЕНИЯ НЕКОНВЕНЦИОНАЛЬНЫХ РЕСУРСОВ И РАЗРАБОТКИ НЕТРАДИЦИОННЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

А.И. Тимурзиев
ОАО «ЦГЭ»

Аннотация. Для месторождений, осложненных структурами горизонтального сдвига, на основе модели строения залежей пластово-жильного типа демонстрируются связи продуктивности скважин с деформационными условиями сжатия – растяжения в пределах зон динамического влияния сдвигов фундамента. Разработанная модель «клина сжатия» и совершенствование ее в модель «клин в клине» позволили обосновать структурные признаки растяжения и проницаемости горных пород для проектирования высокодебитных скважин на месторождениях, осложненных структурами горизонтального сдвига.

В последние годы в ОАО «ЦГЭ» на массовый поток поставлены работы по математическому моделированию напряженно-деформированного (НДС) состояния горных пород (программная среда – ANSYS и его отечественные аналоги), выполняемые по сейсмическим проектам (в границах кубов МОГТ-3D, ЛУ по данным МОГТ-2D или отдельным профилям), связанным со сложным геологическим строением изучаемых объектов. Работы позволяют выделить области (в плане) и интервалы (в сечении) относительного растяжения и сжатия, повышенной трещиноватости и разуплотнения для прогноза фильтрационной неоднородности и анизотропии трещинных сред по 6-ти расчетным компонентам напряжений для 3-х мерного пространства куба на глубину сейсмической записи. Результаты математического моделирования НДС горных пород комплексированы в среде DV-Geo с прогнозными картами пористости, эффективных нефтенасыщенных толщин по сейсмическим атрибутам и позволяют по опыту работ на разрабатываемых месторождениях прогнозировать контура ВНК на поисковых площадях (рис.1).

Целью выполняемых работ является разработка математической модели НДС горных пород для выделения зон относительного сжатия, растяжения, повышенной трещиноватости и разуплотнения. По опыту работ эти данные востребованы сегодня при обосновании местоположения поисково-разведочных и эксплуатационных скважин, при проектировании геолого-технических мероприятий (зарезка боковых стволов, выбор местоположения скважин, прогноз параметров ГРП, проектирование ориентированных стволов скважин и системы ППД), при составлении проектов по освоению сланцевой нефти, при проведении других рискованных мероприятий.

Расчетная модель включает в себя данные о структуре (горизонты и разломы) и физико-механические свойства разреза. Для построения упругой модели расчетного участка используются данные по сейсмическим скоростям продольных и поперечных волн, данные о плотности пород и корреляционные связи между упругими константами, скоростями и плотностью горных пород.

По результатам расчетов и дальнейшей обработки формируется куб данных НДС со значениями $X, Y, Z, \sigma_x, \sigma_z, \tau_{xz}, \sigma_{xN}, \sigma_{zN}, \sigma_m$. Всего в файле содержится информация для более чем миллиона узлов по шести параметрам: σ_x – нормальное горизонтальное напряжение (1); σ_z – нормальное вертикальное напряжение (2); τ_{xz} – касательное напряжение в плоскости Oxz (3); σ_{xN} – нормальное горизонтальное напряжение, нормированное на боковой отпор (4); σ_{zN} – нормальное вертикальное напряжение, нормированное на геостатический вес (5); σ_m – всестороннее горное давление (6). Первые три параметра посчитаны по расчетам в ANSYS, а последние четыре – результат обработки. Нормированные параметры (4,5) – безразмерные, остальные – (1,2,3,6) в МПа.

Рис.1. Пример совмещения результатов математического моделирования НДС горных пород в среде DV-Geo с прогнозными картами эффективных нефтенасыщенных толщин по сейсмическим атрибутам. Цветовая палитра: красный – сжатие, синий – растяжение; показаны контуры залежей (ВНК) и нулевая изолиния, разделяющая области сжатия и растяжения.

Куб полей напряжений представляет собой текстовый файл-матрицу строк и столбцов расчетных точек. По оси ОХ шаг измерений равен расстоянию между вертикальными сечениями модели. Внутри же сечений (по осям ОУ и ОZ) – сеть расчетных точек нерегулярная. Она образована узлами сетки конечных элементов. Далее куб данных НДС используется для получения полей напряжений по поверхности кровель продуктивных и перспективных горизонтов по специальной программе интерполяции. Дополнительными данными служат оцифрованные поверхности горизонтов - grids. При этом вычисляются $\sigma_{m-ost-g}$ - остаточное всестороннее давление, полученное путем вычитания из σ_m фоновых значений, посчитанных путем вычисления равновесного осреднения в круге радиусом 5 км. В результате выполненных работ по математическому моделированию НДС горных пород в линейно-упругой постановке с нагружением массива пород только собственным весом с помощью пакета конечно-элементного анализа ANSYS получают куб данных НДС и значения полей напряжений по поверхностям кровель продуктивных и перспективных горизонтов.

По результатам работ считаются и строятся карты полей напряжений различных компонент тензора напряжений в вертикальных сечениях, по кровлям продуктивных и перспективных горизонтов, модели блокового строения расчетной площади (в вертикальных сечениях в горизонтальных сечениях), районирования площади работ с выделением областей относительного растяжения и повышенной трещиноватости.

На рис.1 показан пример совмещения результатов математического моделирования НДС горных пород в среде DV-Geo с прогнозными картами эффективных нефтенасыщенных толщин по сейсмическим атрибутам, который демонстрирует на примере разрабатываемого месторождения хорошее совпадение контуров ВНК с областями растяжения внутри нулевой изолинии величин остаточных всесторонних давлений. Пример демонстрирует возможность прогнозирования границ распространения залежей (контуров ВНК) на поисковых площадях.

По результатам математического моделирования НДС горных пород удастся установить связи и зависимости полей напряжений с геологическим строением месторождения, его пликативными и дизъюнктивными структурами. Как правило, наиболее приподнятая часть структуры находится в состоянии относительного растяжения по сравнению с его крыльями; в полях напряжений хорошо видна горизонтальная неоднородность напряженно-деформированного состояния горных пород, также хорошо отображается блоковое строение месторождения, обусловленное расположением дизъюнктивов и образующих структурный план горизонтов.

Основные результаты математического моделирования НДС горных пород оформляются в сводные карты областей относительного растяжения и повышенной трещиноватости для всех горизонтов. Изолинии компоненты σ_{mg-ost} локализуют общие области относительного растяжения структуры; внутри нее выделяются локальные области относительного растяжения по компонентам σ_{xN} , σ_{zN} , которые являются наиболее перспективными, с позиций напряженно-деформированного состояния горных пород для заложения поисково-разведочных и добывающих скважин.

По данным касательных напряжений τ_{xz} оконтуриваются предполагаемые области повышенной трещиноватости – благоприятные зоны для формирования трещинных коллекторов нефти и газа и высокопродуктивных участков залежи.

Таким образом, удалось существенно продвинуться в использовании данных моделирования НДС горных пород и комплексирования их с результатами сейсмических построений (карты прогнозных параметров Нэф, Кп и др.) на программном уровне, что позволяет осуществлять геометризацию залежей и давать рекомендации на бурение скважин на основе комплексных параметров структурно-деформационной и емкостно-фильтрационной неоднородности резервуаров. Более того нами реализована возможность включения в анализ наравне с прочими сейсмическими данными 6-ти компонент производных НДС горных пород и использования их в качестве атрибутов геологической и гидродинамической модели залежей. Особый эффект эти работы дают при работе с трещинными коллекторами, с которыми мы столкнемся в низах осадочного чехла и в фундаменте, при разработке нетрадиционных, сложно построенных месторождений, в том числе с неконвенциональными ресурсами.

Результаты математического моделирования НДС горных пород используются при прогнозе параметров трещинных систем в сложных резервуарах, при обосновании концепции поисков нефти и рекомендациях по заложению поисково-разведочных скважин по результатам комплексного анализа геолого-геофизических и промысловых материалов, при подготовке рекомендаций по разработке залежей с учетом результатов углубленного анализа разрывной тектоники, планировании и осуществлении геолого-технических мероприятий в скважинах, включая проектирование дизайна и проведение ГРП, при проектировании и осуществлении наклонно-направленного бурения и при вскрытии высокопродуктивных участков и интервалов распространения сланцевого газа и нефти на фоне нерентабельных для освоения низкопроницаемых полей.