First Experience of Geomechanics Modeling Using Transversely Isotropic Model, East Siberia

A.A. Zinovyev (Schlumberger), V.A. Pavlov (Schlumberger), D.A. Maximov* (Schlumberger), E.P. Korelskiy (Schlumberger), S.G. Strakhov (Schlumberger), A.A. Ereemeev (Schlumberger), M.A. Lushev (Gazprom geologorazvedka)

SUMMARY

It is shown that Vendian terrigenous deposits are characterized by anisotropic mechanical properties. Transversely isotropic model with vertical axis of symmetry (TIV) was used for geomechanics model construction of one of the largest field in East Siberia.

In this paper an algorithm and main aspects of geomechanical modeling with respect to anisotropy of the rock mechanical properties are presented on example of particular field. The impact of anisotropy on results of geomechanical modeling is demonstrated, justifying the need to take into consideration anisotropic effects.

It is shown that anisotropy of rock mechanical properties has to be taken into account for more accurate results of different studies such as avoiding instabilities while drilling, hydraulic fracturing treatment design etc.

Первый опыт использования трансверсально-изотропной модели среды при построении геомеханической модели, Восточная Сибирь

А.А. Зиновьев* (Шлюмберже), В.А. Павлов (Шлюмберже), Д.А. Максимов (Шлюмберже), Е.П. Корельский (Шлюмберже), С.Г. Страхов (Шлюмберже), А.А. Еремеев (Шлюмберже), М.А. Лушев (ООО «Газпромгеологоразведка»)

Введение

На примере одного из крупнейших месторождений Восточной Сибири показано, что вендские терригенные отложения характеризуются анизотропными упруго-прочностными свойствами.

В рамках геомеханического моделирования месторождения впервые в регионе была использована модель трансверсально-изотропной (TIV) среды.

В работе представлен алгоритм и основные особенности построения геомеханической модели с учетом анизотропии механических свойств массива горных пород на примере конкретного месторождения. Рассмотрено влияние анизотропии на результаты геомеханического моделирования, в частности показана разность значений горизонтальных напряжений в глинистых пропластках, полученных с использованием модели трансверсально-изотропной среды и стандартным изотропным случаем.

В работе приводится обоснование необходимости изучения и учета анизотропии механических свойств горных пород для решения практических задач, таких как анализ устойчивости и выдача рекомендаций по безаварийному бурению скважин, расчет достоверного дизайна гидроразрыва пласта и другие.

Метод и/или Теория

Обработка данных кросс-дипольного широкополосного акустического каротажа (АКШ) позволяет не только получить интервальные времена пробега продольной и поперечной волны – основополагающие параметры геомеханического моделирования, но и определить интервалы и параметры анизотропии механических свойств горных пород.

В работе проанализированы причины возникновения анизотропии, а также приведена схема расчета анизотропных механических свойств среды по данным кросс-дипольного АКШ двумя независимыми методами.

Первый метод основан на сопоставлении фактически измеренных интервальных времен пробега продольной и двух поперечных волн (поляризованных горизонтально и квази-вертикально) в скважинах с существенно разными углами наклона – так называемая многоскважинная инверсия (Jocker et al. 2013). Данный метод более трудоемок, поскольку требует наличия и детальной увязки качественных данных АКШ минимум по двум скважинам. Однако он позволяет количественно оценить все параметры TIV-анизотропии по фактически измеренным данным без использования дополнительных допущений.

Второй метод использует инверсию скорости поперечной волны в плоскости, перпендикулярной оси скважины, из дисперсионной кривой волны Стоунли (Norris and Sinha, 1993). Сопоставление скорости этой горизонтальной (в условиях вертикальной скважины) поперечной волны с измеренной дипольными скоростью вертикальной поперечной волны позволяет выявить анизотропные зоны разреза и количественно оценить параметр Томсена, гамма. Для расчета остальных параметров анизотропии требуется привлечение дополнительной информации, например, керновых исследований, или, при их отсутствии, одной из существующих моделей.

В данной работе, наличие оценки параметров анизотропии по результатам многоскважинной инверсии позволило выбрать наиболее подходящую к исследуемым отложениям модель и использовать ее в дальнейшем в каждой единичной скважине с данными Sonic Scanner.

Важной особенностью акустических данных в анизотропных породах является изменение значения времени интервального пробега продольной и поперечной волны в зависимости от зенитного угла скважины. Данный факт приводит к расчету заведомо ложных значений упруго-прочностных параметров, когда при построении трехмерной геомеханической модели акустические данные с разнонаклонных скважин распространяются геостатистическими методами в межскважинное пространство. Учитывая сказанное, в работе рассмотрен процесс вертикализации данных интервального времени пробега продольной волны на основании сравнительного анализа данных записи кросс-дипольного АКШ в вертикальной и разнонаклонных скважинах

Примеры (По выбору)

На ряде скважин одного из крупнейших месторождений Восточной Сибири была произведена запись расширенного комплекса каротажных данных, включающего в себя прибор кросс-дипольного широкополосного акустического каротажа Sonic Scanner.

Наличие у одной из скважины двух стволов – вертикального и наклонного с углом 50-60 градусов (рис. 1) – с данными замеров АКШ прибором Sonic Scanner позволило выполнить оценку параметров TIV-анизотропии двумя независимыми методами.

Во-первых, была выполнена многоскважинная инверсия по данным, полученным при обработке Sonic Scanner в вертикальном пилотном стволе и в наклонном стволе. В результате инверсии выявлена значительная TIV-анизотропия в глинистых интервалах, получены оценки параметров Томсена (эпсилон, дельта, гамма), характеризующих TIV -анизотропию, по разрезу пилотного и наклонного стволов. В глинистых частях разреза параметр гамма достигает значений 0.25-0.3, эпсилон – 0.1-0.2, дельта близка к нулю.

Рисунок 1 Траектории пилотного и наклонного стволов скважины, на которой проводилась запись кросс-дипольного АКШ

Во-вторых, по данным из вертикального ствола скважины по инверсии волны Стоунли была получена скорость горизонтальной поперечной волны и также рассчитан параметр гамма.

Сопоставление значений параметра гамма, полученных двумя методами, показало хорошую сходимость (Рис. 2).

Рисунок 2 Сопоставление результатов оценки TIV-анизотропии (параметр гамма) по двум методам – через многоскважинную инверсию по данным из двух стволов и через инверсию волны Стоунли по данным из пилотного ствола

Из-за близости к нулю значений параметра дельта, полученных по многоскважинной инверсии, для дальнейших расчетов в единичных скважинах была выбрана модель ANNIE (Schoenberg et al., 1996) предполагающая равенство $\delta = 0$.

Таким образом рассчитав все параметры анизотропной модели среды, были получены корреляционные зависимости для восстановления последних на всех скважинах.

В данной работе представлены результаты расчета величин горизонтальных напряжений с учетом анизотропии механических свойств горных пород. Показано влияние использования анизотропной модели среды на результаты расчета устойчивости ствола скважины и вероятность появления обрушений в нестабильных интервалах по сравнению с изотропной моделью (Рис.3).

Таким образом, получив достоверные результаты одномерного геомеханического моделирования по опорным скважинам, строилась трехмерная геомеханическая модель всего месторождения.

Результаты трехмерного геомеханического моделирования всего месторождения использовались для оптимизации эксплуатационного бурения: выдавались рекомендации относительно конструкций, траекторий (угла и азимута) скважин, а также веса бурового раствора и практик для безопасного бурения.

Также в работе показаны результаты расчетов критически нагруженных разломов и анализа модели выноса твердой фазы на месторождении, основанных на построенной трехмерной геомеханической модели.

Рисунок 3 Расчет устойчивости ствола для изотропного сценария (справа) и TIV-анизотропии (слева) для одной из скважин на месторождении

Выводы

По результатам инверсии данных записи акустического широкополосного каротажа по пилотной скважине и боковому стволу выделены интервалы, характеризующиеся анизотропией механических свойств, определены параметры TIV анизотропии, рассчитаны упругие свойства горных пород. Построена геомеханическая модель месторождения на основании трансверсально-изотропной модели среды, выполнены расчеты устойчивости стенок эксплуатационных скважин, показывающие значительное влияние TIV анизотропии на итоговую картину «безопасного окна бурения». Проведен анализ чувствительности расчетов устойчивости стенок скважины к углу и азимуту скважин в случае использования модели трансверсально-изотропной среды. Сравнение двух моделей (изотропный и анизотропный случаи) показало, что при прочих равных параметрах разница длин трещин ГРП может достигать 20-30%. Трещина ГРП имеет большую длину в случае использования напряжений, полученных при расчете по модели трансверсально-изотропной среды, при этом существенно снижается вероятность роста трещины в высоту.

Библиография / References

- Jocker, J., Ferla, M., Pampuri, F., Wielemaker, E. [2003] Seismic Anisotropy Characterization in Heterogeneous Formations Using Borehole Sonic Data. *SPE Annual Technical Conference and Exhibition held in New Orleans, Louisiana, USA, 30 September–2 October 2013*, SPE 166463-MS
- Norris, A., Sinha, B. [1993] Weak elastic anisotropy and the tube wave. *Geophysics*, **58**(8), 1091-1098
- Schoenberg, M., Muir, F., Sayers, C. [1996] Introducing ANNIE: A simple three-parameter anisotropic velocity model for shales, *Journal of Seismic Exploration*, **5**, 35-49