

# ИЗМЕНЕНИЕ НАПРЯЖЕНИЯ И ПРОНИЦАЕМОСТИ ПОРОДЫ В ХОДЕ ИЗВЛЕЧЕНИЯ ФЛЮИДА – ТРАЕКТОРИЯ НАПРЯЖЕНИЙ

Отбор пластового флюида вызывает изменение действующего напряжения в угольном пласте. По мере отбора пластового флюида, при условии свободного понижения его уровня, действующее напряжение по вертикали растет. Данный эффект наблюдается при отборе флюида на значительной площади. При этом горизонтальная деформация остается неизменной в породах, окружающих угольный пласт. Изменения горизонтального напряжения при одновременном снижении давления флюида и усадке пласта в результате десорбции газа (см. брошюру *Усадка угольных пластов*) описываются в брошюре *Движение жидкости внутри угольного пласта*, и рассчитываются по формулам 1 и 2. Данные формулы включают в себя упругие свойства, описываемые модулем Юнга и коэффициентом Пуассона, которые в углях, как правило, являются нелинейными (см. *Механические свойства*).

$$\Delta\sigma'_{h/1} = \Delta P \left(1 + \left(\frac{\nu}{1-\nu}\right)\right) - \frac{E}{1-\nu^2} (\Delta\varepsilon_{sh/1} + \nu\Delta\varepsilon_{sh/2}) \quad 1$$

$$\Delta\sigma'_{h/2} = \Delta P \left(1 + \left(\frac{\nu}{1-\nu}\right)\right) - \frac{E}{1-\nu^2} (\Delta\varepsilon_{sh/2} + \nu\Delta\varepsilon_{sh/1}) \quad 2$$

Где:

- $\Delta\sigma'_{h/1}$  – изменение действующего напряжения в горизонтальной плоскости по направлению 1
- $\Delta\sigma'_{h/2}$  – изменение действующего напряжения в горизонтальной плоскости по направлению 2
- $\Delta P$  – изменение давления жидкости
- $\sigma_{sh/2}$  – изменение напряжения в горизонтальной плоскости по направлению 1, обусловленное усадкой
- $\sigma_{sh/1}$  – изменение напряжения в горизонтальной плоскости по направлению 2, обусловленное усадкой
- $\varepsilon_{sh/1}$  – деформация в горизонтальной плоскости по направлению 1, обусловленная усадкой
- $\varepsilon_{sh/2}$  – деформация в горизонтальной плоскости по направлению 2, обусловленная усадкой
- $E$  – Коэффициент Пуассона
- $\nu$  – Модуль Юнга

Важность изменения напряжения обуславливается его влиянием на проницаемость угля, что описывается формулой 3 (*движение жидкости внутри угольного пласта*).

$$\ln k = \log k_0 - 1/b \times (\text{действующее напряжение}) \quad 3$$

Где:

- $k$  – абсолютная проницаемость угля по какому-либо направлению
- $k_0$  – проницаемость при нулевом действующем напряжении
- $b$  – коэффициент напряжение-проницаемость

При высокой проницаемости угля ее изменение редко бывает значительным, поскольку коэффициент напряжение-проницаемость ( $b$ ), как правило, высок. Однако при низкой проницаемости очень важно определить характер ее изменения (увеличение или уменьшение) при отборе флюида. Это является ключевым моментом, определяющим возможность коммерческой добычи газа или необходимость дренажа пласта для добычи угля.

Для определения характера изменения горизонтального напряжения породы желательно знать его изначальное значение, поскольку физические свойства угля, как правило, проявляют некоторую нелинейность, и при их расчете следует учитывать соответствующее напряжение. К сожалению, точное измерение напряжения в угольных пластах представляет некоторые сложности, поскольку отбор керна, как правило, невозможен (см. *Определение напряжения по кернам колонкового бурения*), а использование гидроразрыва позволяет определить напряжение только вдоль кливажей с наименьшим напряжением (см. *Измерение напряжения породы с помощью гидроразрыва*). Таким образом, для расчета используются значения тектонического напряжения (*Определение нагрузки по осадочным пластам и тектоническим напряжениям*), рассчитываемые на основе напряжений, замеренных в породах, залегающих выше и ниже угольного пласта, с использованием соответствующих значений модуля Юнга и коэффициента Пуассона, что дает вероятные значения напряжения в пласте. При наличии возможности, значение минимального основного напряжения следует подтвердить путем проведения гидроразрыва, а при невозможности – рассчитать его вероятное значение и оценить воздействие его изменения на характер изменения оценочных показателей нагрузки.

При известном показателе содержания газа в пласте (см. брошюру *Определение газонасыщенности – десорбция керна, десорбция угольной мелочи и определение содержания газа без отбора керна*) и наличии изотермы сорбции (см. *Газовые залежи*) становится возможным расчет давления сорбции (давления насыщения). Определение давления коллектора осуществляется с помощью пластоиспытателя (см. *Испытания пласта*) либо путем непрерывного измерения (см. *Мониторинг коллектора*). В результате измерения давления и расчета значения напряжения получают данные, являющиеся основой для расчета изменений напряжения.

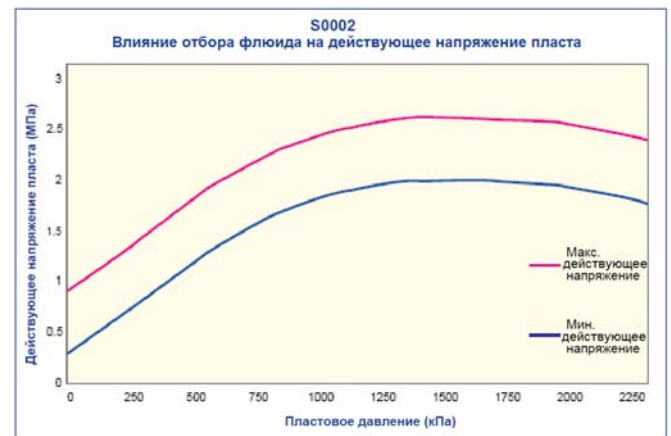
До начала десорбции газа изменения напряжения могут быть рассчитаны по формулам 1 и 2, без учета усадки

пласта. После десорбции следует использовать значения деформации породы при усадке.

Они рассчитываются на основе результатов измерения усадки угля и давления газа (см. *Усадка угольных пластов*).

Расчет изменений напряжения следует осуществлять поэтапно, с учетом нелинейности, как усадки, так и физических свойств угля.

Результатом расчета является траектория напряжений, показанная на рис. 1. Наблюдается рост действующего напряжения по двум горизонтальным направлениям при падении давления коллектора с 2050 до 1250 кПа. При падении давления ниже этих значений заметно проявляется эффект усадки, и наблюдается снижение действующего напряжения. Поскольку рассматриваемый здесь угольный пласт обладает очень низкой проницаемостью, этот факт необходимо отметить. Предполагается, что отбор жидкости будет осуществляться медленно, до снижения давления до 1250 кПа, после чего значительно ускорится. Снижение давления в угольном коллекторе до указанного значения, возможно, потребует наличия близко расположенных друг от друга горизонтальных скважин и дополнительной стимуляции пласта, например, с помощью гидроразрыва, для повышения отдачи.



**Рис. 1: Траектория напряжений в ходе отбора флюида из пласта в угольном бассейне Bowen Basin**

В угле с низкой проницаемостью и отсутствии снижения действующего горизонтального напряжения, а также его возможном росте, при падении давления флюида его отведение из пласта невозможно без искусственного снижения внутрипластового напряжения. Для этого требуется удаление некоторой части материала. В условиях горнорудной промышленности это достигается путем разработки прилегающих пластов, более пригодных для проведения работ.