УДК 550.83

Н.И.СЛЮСАРЕВ, С.П.МОЗЕР
Санкт-Петербургский государственный горный институт (технический университет),
Р.А.ИБРАЕВ
ООО «Октябрьскнефть», Октябрьский

ОСОБЕННОСТИ СТРОИТЕЛЬСТВА СКВАЖИН В УСЛОВИЯХ НЕУПРУГОЙ ДЕФОРМАЦИИ СОЛЕНОСНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ

Рассмотрены вопросы бурения и строительства скважин при неравнокомпонентных составляющих горного давления в соленосных отложениях. Приведены основные факторы, снижающие устойчивость ствола скважины. Отражены вопросы, связанные с выбором типа бурового раствора для исключения вредных проявлений горного давления.

The problems boring and exploitation of wells are reviewed at is uneven of component rock pressure in saliferous deposits. The major factors lowering hole stability of well are adduced. The problems, bound with typeselection of drill fluid for exception of parasitic rock pressure manifestations are mirrored.

Условия перехода упругой деформации солей к неупругой выражаются в сужении ствола скважины. На определенной глубине вокруг ствола образуется зона пластической деформации некоторого радиуса, при которой уменьшается диаметр скважины. После остановки процесса бурения зона регистрируется профилеметрическими замерами, которые необходимо проводить перед спуском обсадной колонны, перекрывающей соленосную толщу. Глубина начала сужения – критическая глубина деформации – определяется значением перепада геостатического $p_{\text{гео}}$ и гидростатического $p_{\text{р}}$ давления бурового раствора на массив и предела пластичности на сдвиг $\tau_{\text{п}}$

$$p_{\text{гео}} - p_{\text{р}} = \tau_{\text{п}}.$$

На стадии упругой деформации уравнение состояния соли, выраженное через скорость деформации, соответствует закону Гука. При напряжениях выше предельных соль ведет себя как вязкая среда. Неупругая деформация и неравенство составляющих горного давления в горизонтальных плоскостях околоствольного пространства значительно осложняют условия бурения и крепления скважин в солях. Кроме того, они являются причинами геологических осложнений, смятия обсадных колонн, разрушения конструкций скважин, прорывов рассолов или углеводородов в межколонном или заколонном пространстве. Способы предотвращения влияния названных факторов должны основываться на решении задач горной механики.

Для определения предела пластичности на сдвиг $\tau_{\text{п}}$ каменной соли В.Д.Терентьевым [3] получена обобщенная эмпирическая формула его зависимости от температуры T:

$$\tau_{\text{п}} = 32{,}46e^{-0{,}00823T}.$$

Деформационный процесс в околоствольной зоне скважины можно оценивать по реологическим свойствам каменной соли. Поскольку профилеметрия регистрирует только неупругую составляющую деформации, то структурную (динамическую) вязкость μ за определенный промежуток времени Δt после вскрытия или проработки допускается определять на любой глубине залегания по методу [3]:

$$\mu = \frac{(p_{\text{гео}} - p_{\text{р}} - \tau_{\text{п}})\Delta t}{\frac{D(t) - D_0}{D(t)}},$$

где D_0, $D(t)$ – диаметр скважины после вскрытия и прохождения времени Δt соответственно.

Упругое равновесие горных пород в околоствольной зоне с увеличением глубины нарушается за счет нарастающей разности геостатического и гидростатического давления бурового раствора. В этом случае условие равновесия сил

$$p_{\text{гео}} - p_{\text{р}} - \tau_{\text{п}} = 0.$$

Процесс неупругой деформации стенок ствола скважины в соленосной толще начинается при определенном соотношении внешних сил, обеспечивающем начало пластической деформации. Перемещение солей к центру ствола происходит до тех пор, пока не реализуется вся зона пластической деформации, радиус которой обусловлен пределом пластичности соли при сдвиге, реологическими параметрами и начальным радиусом ствола. С увеличением плотности бурового раствора снижаются сжимающие напряжения на стенке скважины, что способствует сопротивлению высоким напряжениям в горных породах [1]. Кроме того, необходимо учитывать, что при спускоподъемных операциях возрастают гидродинамические нагрузки на стенки скважины, которые могут привести к гидроразрыву соленосной толщи, особенно вследствие неоднородности в кровельной или подошвенной частях, а также в терригенных кавернах.

На основании экспериментальных исследований [2] установлено, что давление гидроразрыва $p_{\text{раз}}$ однородной каменной соли при всестороннем наружном давлении, эквивалентном глубине 2000 м,

$$p_{\text{раз}} \approx 1{,}3 p_{\text{гео}}.$$

До гидроразрыва устанавливается состояние равновесия и на обсадную колонну, по всей поверхности распределяется всестороннее равномерное давление жидкости. Если реализуется гидроразрыв, то на ограниченную поверхность трубы передается давление соляной массы, вызванное продолжающейся неупругой деформацией. Кроме того, в зоне контакта колонны с соляной стенкой на одной из горизонтальных осей возникает дополнительная вертикальная нагрузка, создающая неравнокомпонентность сил, что в совокупности может привести к смятию или даже гидроразрыву обсадных труб.

Всесторонняя равномерная симметричная система действия внешних сил в замкнутой гидравлической полости скважины обеспечивается, если сужение стенок в соленосной толще происходит равномерно в радиальной деформации, т.е. сохраняется круглое сечение ствола. Если профилеметрия регистрирует более высокую скорость сужения стенок в одном из горизонтальных направлений и наблюдается овальность сечения ствола скважины, то это свидетельствует о неравнокомпонентном нагружении околоствольной зоны скважины во взаимно перпендикулярных горизонтальных направлениях. Одной из причин возникновения неравнокомпонентного нагружения может быть тектоническая составляющая горного давления в одной из горизонтальных плоскостей.

Анализ промысловых данных свидетельствует о том, что с ростом угла падения пластов и приближением скважин к зонам тектонического нарушения повышается овальность сечения ствола в соляной толще.

За коэффициент неравномерности радиальной деформации можно принять значение коэффициента овальности большей оси овального сечения ствола a к меньшей $в$:

$$K = a/в.$$

Значение тектонической составляющей на любой глубине скважины H можно определить по ее градиенту:

$$\text{grad}\, p_{\text{т}} = (\rho_{\text{п}} - \rho_{\text{с}})g,$$

где $\rho_{\text{п}}$ и $\rho_{\text{с}}$ – плотность терригенных пород и соли соответственно, кг/м^3; g – ускорение свободного падения, м/с^2.

Необходимо учитывать, что тектоническая составляющая горного давления по своей величине может меняться от нуля до некоторого максимума, что отражается на изменении значения неравнокомпонентности неупругой деформации по коэффициен-

ту овальности сечения ствола. Если коэффициент овальности определяется в пределах единицы, то тектоническая составляющая равна нулю. Когда это условие не выполняется, то в процессе строительства скважины необходимо учитывать не только гидростатический характер распределения напряжений вокруг ствола скважины, но и тектоническую составляющую горного давления.

Для этого необходимо ввести тектоническую составляющую. Тогда равновесие сил с учетом неравнокомпонентности внешних составляющих сохраняется, если

$$p_{\text{гео}} - p_{\text{р}} - \tau_{\text{п}} + p_{\text{т}} = 0.$$

Таким образом, согласно условию равновесия сил, с ростом неравнокомпонентности неупругой деформации (проявление тектонической составляющей горного давления) необходимо увеличивать плотность бурового раствора.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Слюсарев Н.И.* Совершенствование методов повышения нефтеотдачи истощенных, дренированных и низкопроницаемых коллекторов / Н.И.Слюсарев, С.П.Калмацкий, Ш.Г.Мингулов // Актуальные проблемы горной науки и образования / Санкт-Петербургский горный ин-т. СПб, 1999. С.97-100.

2. *Слюсарев Н.И.* Экпериментальное исследование эффекта гидроразрыва монолитных горных пород для создания подземного теплового котла / Н.И.Слюсарев, В.Д.Трофимов, Г.Г.Юревич // Физические процессы горного производства / Ленинградский горный ин-т. Л., 1977. № 4. С.113-116.

3. *Терентьев В.Д.* Экспериментальные исследования деформационных свойств каменной соли в скважинах // Геология и разведка месторождений нефти и газа юго-востока Русской плиты / ВНИГНИ. М., 1990.