

ВЛИЯНИЕ ПОЛЗУЧЕСТИ ГОРНЫХ ПОРОД НА НАГРУЗКИ ОБСАДНОЙ КОЛОННЫ

Лян Эрго, Ли Цзыфэн, Чэнь Хунбин

MECHANICAL EFFECT OF CREEP FORMATION ON OIL WELL CASING

Liang Erguo, Li Zifeng, Chen Hongbing

Согласно практическому строительству скважин и механическим основам, создана правильная механическая модель взаимодействия между обсадной колонной и стратиграфической ползучестью. При отсутствии стратиграфической ползучести напряжение в грунте не действует на ОК; при наличии напряжений в грунте и долгого действия внешняя нагрузка на ОК в самом деле представляет собой давление перекрывающего отложения.

Ключевые слова: ползучесть, обсадная колонна (ОК), внешняя нагрузка, механическая модель.

Based on the well construction procedure and mechanics principle, a correct interaction model between creep formation and casing was established. If the formation is rigid or elastic, earth stresses can not exert on the casing. If the formation is of creep property, the external pressure on the casing will be the overburden pressure after a long time.

Keywords: casing, formation creep, load, mechanics model.

Введение

В процессе разработки нефтегазовых месторождений через некоторое время большая часть обсадной колонны (трубы) в разной степени ломается, что приводит к снижению дебита скважин, даже к их ликвидации. Одной из многих причин, вызывающих повреждение ОК, является постоянно повышающаяся внешняя нагрузка на ОК, которая вызывается сужением стволов скважин в связи со стратиграфической ползучестью. В этом случае нагрузка на ОК гораздо больше, чем во время заполнения скважин. Поэтому создание правильной механической модели взаимодействия между ОК и горными породами в условиях ползучести имеет чрезвычайно важное значение для анализа нагрузки на ОК.

Многие ученые уже провели исследования влияния напряжений в грунте, но в созданных ими механических моделях существуют теоретические ошибки. В работах [1-9] считается, что практическая механическая модель получается в условиях бурения, спуска ОК и цементирования без действия напряжений в грунте, а после выполнения вышеуказанных операций снова добавляются напряжения в грунте. Авторы статьи на основе практического стратиграфического положения и механического принципа создали механическую модель взаимодействия между ОК и горными породами, т. е. данная механическая модель получается в условиях бурения, спуска ОК и цементирования с действием напряжений в грунте.

Нагрузка ползучести на обсадную колонну

Ползучесть горных пород является макроскопическим выражением их реологических свойств. Ползучесть горных пород - это свойство [10], которое заключается в следующем: под непрерывным действием постоянного напряжения в грунте деформация горных пород увеличивается с течением времени. Такая деформация ограничивается обсадной колонной и затрубным цементным кольцом, она оказывает непрерывно увеличивающиеся дополнительные внешние нагрузки на ОК. Данная нагрузка называется нагрузкой ползучести обсадной колонны. Спустя определенное время внешняя нагрузка становится стабильной. Внешняя нагрузка на ОК создается ползучестью в результате действия напряжения в глинистом грунте, поэтому величина напряжения в грунте обязательно оказывает влияние на внешнюю нагрузку на ОК. Внешняя нагрузка ползучести горных пород на ОК увеличивает деформацию ОК. Когда напряжение в грунте увеличивается до такой степени, что нагрузка ползучести горных пород на ОК превысит ее прочность, у ОК возникнет текучесть и деформация непрерывно увеличивается вплоть до ее разрушения.

Обычно процесс ползучести горных пород разделяется на три этапа: этап первоначальной ползучести с постепенно уменьшающимся темпом деформации, этап стабильной ползучести с неизменным темпом деформации, а также этап ускоренной ползучести с быстро увеличиваю-

щимся темпом деформации. Из-за того, что подземные породы находятся в трехосном напряженном состоянии, кроме случаев, когда между горными породами происходит относительное скольжение, не будет создаваться ускоренная ползучесть. То есть ползучесть горных пород происходит только на первом и втором этапах. Такой эффект ползучести пород можно исследовать с помощью теории вязкоупругости.

Механическая модель взаимодействия между обсадной колонной и горными породами

Обсадная колонна, спущенная в открытый ствол скважин, воспринимает только собственный вес и нагрузку, созданную буровым раствором. Поэтому на протяжении многих лет в расчёте нагрузки на ОК гидростатическое давление в стволах скважин до цементирования подсчитывается как единственное внешнее вытесняющее давление. А после цементирования скважин напряжение в грунте на ОК различается по горным породам. В работах [1-9] при анализе напряжения в грунте все механические модели основаны на таких предположениях, что в пластах сохраняется природное напряженное состояние, в котором выполняется бурение, спуск ОК и цементирование (рис. 1, а). После вышеуказанных операций увеличивается напряжение в грунте. Под действием данного несимметричного напряжения в грунте σ_x и σ_y , сечение ОК становится овальным (рис. 1, б). В данной модели существует теоретическая ошибка.

Авторы статьи считают, что фактическая механическая модель должна основываться на таких условиях, что в пластах в первоначальном состоянии уже возникают напряжения в грунте (рис. 2, а). Для нерелеологического пласта в случае данной модели напряжение в грунте никогда не передается на ОК.

Как для первой механической модели, так и для второй при спуске ОК и после цементирования на ОК не действуют напряжения грунта. Данный метод годится только в условиях полных жестких пластов и без любого внешнего фактора силы.

При учете упругих пластов для первой механической модели (см. рис. 1), то есть предположе-

но, что после спуска ОК и цементирования прибавляется напряжение в грунте, тогда на ОК будут действовать напряжения грунта, и сечение ОК под действием этих напряжений будет становиться овальным. А на самом деле на ОК никогда не будет оказываться воздействие напряжения грунта в упругих пластах, и сечение ОК остается круглым (рис. 2, б).

Пласт, содержащий соляные породы, глинистые породы и сланцы, имеет свойство ползучести. Ползучесть пласта создает дополнительные нагрузки на ОК. Хотя с помощью любой вышеуказанной механической модели можно высчитать дополнительные нагрузки ползучести, но из-за теоретической ошибки механической модели, показанной на рис. 1, многие ученые, используя данную модель, получили ошибочные результаты в подсчете нагрузки ползучести.

В работах [2] и [3], используя механическую модель рис. 1, при достаточно большом времени в пластах ползучести получается внешняя нагрузка на ОК:

$$p = \lim_{t \rightarrow \infty} p(a, t) = \frac{2k(1-\mu)}{k+K} \sigma_{\infty}, \quad (1)$$

где p - внешняя нагрузка на ОК, МПа; a - внешний радиус ОК, м; t - время действия, с; k - жёсткость ОК, МПа/м; K - жёсткость пласта, МПа/м; μ - коэффициент Пуассона пласта; σ_{∞} - напряжение в грунте бесконечного массива грунта, МПа.

Можно сделать следующий вывод: как при условии равномерного напряжения в грунте, так и при условии неравномерного напряжения в грунте, после достаточно долгого времени нагрузка на ОК в пластах ползучести приближается к достижению полного упругого решения; можно прямо подсчитывать максимальную нагрузку на ОК по упругому варианту.

Согласно механической модели (рис. 2) и по соотношению между внешним вытесняющим давлением на ОК и достаточно большом времени в результате ползучести горных пород внешней нагрузкой на ОК является

$$p = \sigma_{\infty}. \quad (2)$$

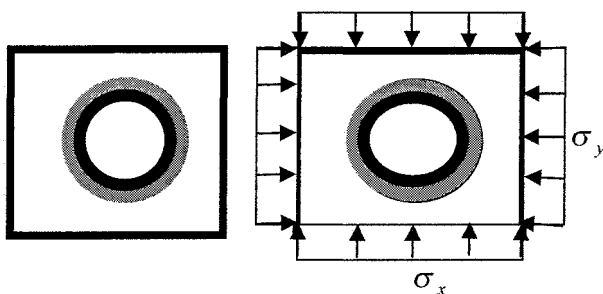


Рис. 1. Первая механическая модель нагрузки на ОК

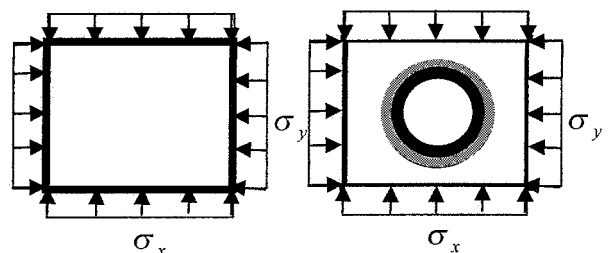


Рис. 2. Механическая модель фактической нагрузки на ОК (вторая модель)

Заключение

В данной статье, исходя из воздействия нагрузки ползучести горных пород на ОК, анализируются и обобщаются существующие модели взаимодействия между ОК и пластами, обнаруживаются их недостатки, создается механическая модель практического взаимодействия, и по этой модели теоретически решается нагрузка ползучести на ОК в пластах ползучести, что имеет определяющее значение в правильном анализе нагрузки на ОК, и в то же время в определенной степени имеет практическое значение для расчета прочности ОК и защиты ОК от повреждения.

Литература

1. Yin Youquan. *Theoretical solutions of stress distribution in casing-cement and stratum system* / Yin Youquan, Chen Chaowei, Li Pinggen // *Chinese Journal of Theoretical and Applied Mechanics*. — 2006. — Vol. 38. — P. 835-842.

2. *Study on casing loads in creep formations* / Yin Youquan, Li Zhiming, Zhang Guangqing et al. // *Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering*. — 2004. - Vol. 23. -P. 2381-2384.

3. *Additional load of casing used in reep formation* / Li Zhiming, Zhang Yanfu, Wang Jiping et al. // *Oil Drilling & Production Technology*. - 1999. - Vol. 21.-P. 10-13.

4. *Back analysis of reservoir stress field with logging data of casing deformation* / Chen Zhaowei, Yin Youquan, Cai Yyongen et al. // *Chinese Journal of*

Rock Mechanics and Engineering. - 2007. - Vol. 26. - P. 734-739.

5. Li Pinggen. *Theorecal solution of casing loads in rheological formation in tectonic stress field* / Li Pinggen, Yin Youquan, Su Xianyue // *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis*. — 2007. — Vol. 43.-P. 11-16.

6. *Theoretical solution of casing loading under non-uniform ground stress field* / Yin Youquan, Cai Yongen, Chen Zhaowei et al. // *Acta Petrolei Sinica*. - 2006. - Vol. 27. -P. 133-138.

7. Fang Jun. *Anumerical analysis of casing collapse under nonuniform load* / Fang Jun, Gu Yuhong, Mi Fengzhen // *China Petroleum Machinery*. — 1999. — Vol. 27.-P. 34-37.

8. *Analysis of loading property of casing and cement sheath under nonuniform geologic stress* / Fang Jun, Zhao Huaiwen, Yue Boqian et al. // *Journal of the University of Petroleum. China*. - 1995. - Vol. 19. - P. 52-57.

9. *Analysis of surface loading on casing and cement sheath under nonuniform geologic stress* / Fang Jun, Yue Boqian, Zhao Huaiwen et al. // *Journal of the University of Petroleum. China*. - 1997. - Vol. 21. — P. 46-48.

10. Wang Zhongmao. *The casing damage mechanisms and its control in oil and water wells*. Beijing. N.Y: Petroleum Industry Press, 1994.

11. Li Zifeng. *The mechanism of casing failure* / Li Zifeng, Yang Minjia, Li Bangda // *Oil Drilling & Production Technology*. -1985. - Vol. 7. -P. 47-53.

Поступила в редакцию 20 марта 2010 г.