



УДК 622

ПОЛЗУЧЕСТЬ АЛЮМИНИЕВЫХ БУРИЛЬНЫХ ТРУБ ПРИ СВЕРХГЛУБОКОМ БУРЕНИИ



CREEP OF ALUMINUM DRILL PIPES AT EXTRA DEEP DRILLING

Жуков Виктор Андреевич

студент кафедры
«Бурение нефтяных и газовых скважин»,
Самарский государственный
технический университет
cynbitim@mail.ru

Кичаев Пётр Евгеньевич

кандидат физико-математических наук,
доцент, заместитель заведующего
кафедрой «Механика»,
Самарский государственный
технический университет
kichaevp@yandex.ru

Мозговой Георгий Сергеевич

старший преподаватель кафедры
«Бурение нефтяных и газовых скважин»,
Самарский государственный
технический университет
gsmozgovoi@mail.ru

Аннотация. В данной статье рассмотрена проблема ползучести алюминиевых бурильных труб при сверхглубоком бурении. Проанализированы характерные особенности условия текучести, использование условия текучести для ортотропного и изотропного материала. Приведена причина, по которой необходимо использование легкосплавных бурильных труб (ЛБТ) алюминиевых или титановых сплавов. Сказано, почему рекомендуется использование алюминиевых бурильных труб для проводки глубинных скважин. Рассмотрена проблема времени нахождения бурильных труб в зоне повышенных температур, из-за чего меняются механические характеристики материала труб, и возрастает вероятность появления необратимых пластических и реологических деформаций. Выведено упрощенное уравнение для нахождения условия текучести. Выявлен и обоснован реологический коэффициент и параметры анизотропии. Получены усредненные параметры анизотропии для вязкоупругой и вязкопластической компонент. Показаны графики Кривых деформирования, усредненные по трем реализациям. На основе проведенных исследований автор объясняет почему для решения краевой задачи на первой итерации можно принять параметры анизотропии.

Ключевые слова: бурильная труба, колонна, текучесть, параметры анизотропии, материал.

Zhukov Viktor Andreevich

Student of the Department
«Drilling oil and gas wells»,
Samara State Technical University
cynbitim@mail.ru

Kichaev Peter Evgenievich

Associate Professor,
Deputy Head of the Department «Mechanics»,
Samara State Technical University
kichaevp@yandex.ru

Mozgovoi George Sergeevich

Senior lecturer in «Drilling oil and gas wells»
Samara State Technical University
gsmozgovoi@mail.ru

Annotation. This article discusses the problem of creep of aluminum drill pipes in ultra-deep drilling. The characteristic features of the yield conditions, the use of the yield conditions for an orthotropic and isotropic material are analyzed. The reason for the use of light-alloy drill pipes (LBT) of aluminum or titanium alloys is given. It is said why the use of aluminum drill pipes for deep hole drilling is recommended. The problem of the time spent by drill pipes in the zone of elevated temperatures is considered, due to which the mechanical characteristics of the pipe material change, and the likelihood of irreversible plastic and rheological deformations increases. A simplified equation is derived for finding the yield condition. The rheological coefficient and anisotropy parameters are identified and justified. The averaged anisotropy parameters are obtained for the viscoelastic and viscoplastic components. Shows the curves of the strain curves, averaged over three implementations. Based on the studies, the author explains why, for solving the boundary value problem at the first iteration, it is possible to take the anisotropy parameters.

Keywords: drill pipe, string, fluidity, anisotropy parameters, material.

При компоновке колонны труб для сверхглубокого бурения необходимо учитывать рост веса колонны и рост забойных температур. Предельная глубина подвески одноразмерной бурильной колонны определяется прочностью материала труб. Растягивающее напряжение на элементе, в точке подвеса колонны, не должно превышать предела текучести материала σ_T . Перспектива применения материала труб оценивают удельной прочностью q_n [1]:



$$q_n = \frac{\sigma_T}{\rho}, \tag{1}$$

где ρ – плотность материала.

Удельная прочность имеет размерность длины и характеризует предельную длину подвески одноразмерной колонны в воздухе, без учета облегчения от промывочной жидкости.

Таблица 1

Материал труб	Предел текучести σ_T , МПа	Плотность ρ г/см ³	Удельная прочность q_n , км
Алюминиевый сплав Д16Т	330	2,78	11,8
Титановый сплав АТ-3	670	4,54	14,7
Сталь ст45	360	7,85	4,6

При бурении скважин одноразмерной колонной глубиной свыше 5 км необходимо использовать легкосплавные бурильные трубы (ЛБТ) алюминиевых или титановых сплавов. Учитывая высокую стоимость титановых труб, для проводки глубинных скважин рекомендуются алюминиевые бурильные трубы (АБТ), в частности, из сплава Д16Т.

В зависимости от региона геотермальный градиент температур колеблется в пределах 0,01–0,04 °С/м [2], что для глубины бурения 7000 м могут варьироваться от 70 до 280 °С. С ростом глубины бурения увеличивается продолжительность рейса и, соответственно, время нахождения бурильных труб в зоне повышенных температур. При этом меняются механические характеристики материала труб и возрастает вероятность появления необратимых пластических и реологических деформаций.

Бурильные трубы из сплава Д16Т изготавливают методом прямого прессования, обеспечивая одинаковую степень вытяжки для всех типоразмеров. Материал труб становится ортотропным по отношению упругих, пластических и реологических свойств, а главные оси анизотропии совпадают координатами цилиндрической системы (r, θ, z).

Для ортотропного материала условие текучести Мизеса, выраженное в напряжениях, предложено Р.Хиллом, и в цилиндрической системе координат имеет вид [3]:

$$2\sigma_3^2 = H(\sigma_r - \sigma_\theta)^2 + F(\sigma_\theta - \sigma_z)^2 + G(\sigma_z - \sigma_r)^2 + 2N\tau_{r\theta}^2 + 2L\tau_{\theta z}^2 + 2M\tau_{rz}^2, \tag{2}$$

где $\sigma_r, \sigma_\theta, \sigma_z, \tau_{r\theta}, \tau_{\theta z}, \tau_{rz}$ – компоненты тензора напряжений; H, F, G, N, L, M – параметры анизотропии; σ_3 – эквивалентное напряжение, определяющее поверхность текучести.

Условие текучести трактуется как энергетическое, когда энергия упругого изменения формы достигает определенной величины. Если материал исходно изотропен, то σ_3 пропорционально второму инварианту девиатора напряжений $\overline{\sigma_{ij}}$. Для осесимметричной бурильной трубы при действии на нее растягивающего усилия, крутящего момента, внутреннего и внешнего давлений отличны от нуля четыре компоненты тензора напряжений: $\sigma_r, \sigma_\theta, \sigma_z, \tau_{\theta z}$ и уравнение (2) упрощается до вида:

$$2\sigma_3^2 = H(\sigma_r - \sigma_\theta)^2 + F(\sigma_\theta - \sigma_z)^2 + G(\sigma_z - \sigma_r)^2 + 2L\tau_{\theta z}^2, \tag{3}$$

Искомыми являются четыре параметра анизотропии H, F, G, L которые могут быть вычислены по результатам одноосных испытаний образцов, вырезанных из тела трубы в осевом – z , окружном – θ , радиальном – r и под углом 45° к осям $z\theta$ [4]. Усредненные значения параметров анизотропии по результатам механических испытаний образцов, вырезанных из тела трубы 147x11 соответственно равны: $H = 1,43; F = 0,91; G = 1,09; L = 4,1$.

Изотропное тело является частным случаем, когда $H = F = G = 1; N = L = M = 3; \sigma_3 = \sigma_1$.

Реологические коэффициенты и параметры анизотропии вычислялись по результатам одноосных испытаний образцов на ползучесть при температуре $T = 190$ °С и двух уровнях напряжений 200 и 150 МПа. В качестве расчетной принята реологическая модель неполной обратимости [5], согласно которой деформация ползучести рассматривается как сумма независимых компонент, вязкой, вязкопластической и вязкоупругой. Кривые деформирования усредненные по трем реализациям изображены на рисунках 1 и 2, где цифры I–IV – направления вырезки образцов: I – осевое, II – 45°, III – окружное, IV – радиальное.

Получены следующие усредненные параметры анизотропии для вязкоупругой и вязкопластической компонент (первая стадия ползучести) $H = 1,545; F = 0,925; G = 1,075; L = 3,46$.

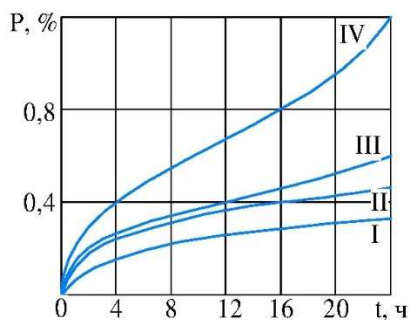


Рисунок 1 – Кривые деформации ползучести образцов Д16Т при $\sigma = 200$ МПа

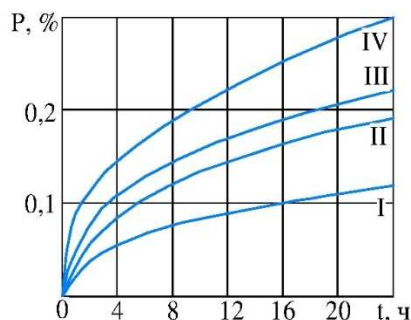


Рисунок 2 – Кривые деформации ползучести образцов Д16Т при $\sigma = 150$ МПа

Проведение подобных испытаний является дорогостоящей операцией, требует наличия специальных испытательных машин на ползучесть для образцов с разной базой [6]. Поэтому для решения краевой задачи на первой итерации можно принять параметры анизотропии, которые были получены по результатам механических испытаний [4].

Литература

1. Бурильные трубы из алюминиевых сплавов / В.Ф. Штамбург, Г.М. Файн, С.М. Данелянц, А.А. Шеина. – М. : Недра, 1980.
2. Файн Г.М., Неймарк А.С. Проектирование и эксплуатация бурильных колонн для глубоких скважин. – М. : Недра, 1985. – 237 с.
3. Hill R. The mathematical theory of plasticity. – London : Oxford University Press, 1950. – 318 p.
4. Катугина В.О. Исследование анизотропии механических свойств легкосплавных бурильных труб // Сборник докладов XVI Международной молодежной научной конференции Севергеоэкотех – 20015. – Ухта : УГТУ, 2015. – С. 22–25.
5. Радченко В.П., Кичаев П.Е. Энергетическая концепция ползучести и виброползучести металлов. – Самара : СамГТУ, 2011. – 157 с.
6. Кичаев Е.К., Файн Г.М. Ползучесть бурильных труб из сплава д16Т в условиях сверхглубокого бурения // Прочность материалов и элементов конструкций при сложном напряженном состоянии. – Киев : Наукова думка, 1978.

References

1. Drill pipes from aluminum alloys / V.F. Stamburg, G.M. Fine, S.M. Danelyants, A.A. Sheina. – M. : Nedra, 1980.
2. Fayn G.M., Neymark A.S. Design and operation of drill string for deep wells. – M. : Nedra, 1985. – 237 p.
3. Hill R. The mathematical theory of plasticity. – London : Oxford University Press, 1950. – 318 p.
4. Katugina V.O. Investigation of the anisotropy of the mechanical properties of light alloy drill pipes // Collection of reports of the XVI International Youth Scientific Conference Severgeoeokotech – 20015. – Ukhta : USTU, 2015. – P. 22–25.
5. Radchenko V.P., Kichaev P.E. Energy concept of creep and vibration creep of metals. – Samara : Samara State Technical University, 2011. – 157 p.
6. Kichaev E.K., Fayn G.M. Creep of drill pipes made of d16T alloy under ultra-deep drilling // Strength of materials and structural elements under complex stress state. – Kiev : Naukova Dumka, 1978.