

**REPORTS OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES
OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN**

ISSN 2224-5227

Volume 2, Number 300 (2015), 51–58

**Determination of static loading pipes
of a drill string in conditions of sticking****Barayev A. ¹, Zhumabayev M.Zh. ¹, Dzhanzakov I.I., Tulip A.S. ³, Bariev M. ⁴**
barayev42@mail.ru

1-South Kazakhtan State Pedagogical Institute, Shymkent, Kazakhstan

2-Atyrau Institute of Oil and Gas, Atyrau, Kazakhstan

3-International Kazakh-Turkish University named after A. Yasavi, Turkestan, Kazakhstan

4-Tashkent State Technical University named after A. Beruni, Uzbekistan.

Key words. Column, plot, statics, various, pipes, drilling.**Abstract.** Breaking all the length of the column for several plots, taking into account their characteristics, a static stress state at each site is determined. Necessary conditions for the elimination of sticking. The static loading of the drill string, consisting of various pipes, is investigated.

УДК 622.248

**Определение статической нагруженности труб
бурильной колонны в условиях прихвата****Бараев А. ¹, Жумабаев М.Ж. ¹, Джанзаков И.И., Тулип А.С. ³, Бариев М. ⁴**
barayev42@mail.ru

1-Южно-Казахстанский государственный педагогический институт. Шымкент, Казахстан

2-Атырауский институт нефти и газа. Атырау, Казахстан

3-Международный Казахско-Турецкий университет им. А Ясави. Туркестан, Казахстан

4-Ташкентский государственный технический университет им.А.Беруни, Узбекистан.

Ключевые слова. Колонна, участок, статика, различные, трубы, бурение.**Аннотация.** Разбивая все длину колонны на несколько участков, с учетом их особенностей определяется статическое напряженное состояние на каждом участке. Получены необходимые условия для ликвидации прихвата. Исследована статическая нагруженность колонны, состоящей из различных труб.

Причины и факторы, приводящие к прихвату, многочисленны и разнообразны, общим же для всех типов прихватов является то, что колонна на некотором своем протяжении оказывается достаточно прочно связанной со стенкой скважины. При ликвидации прихвата прочность самой колонны становится ограничивающим фактором, поскольку приложение больших усилий может привести к обрыву колонны, прежде чем она будет освобождена от прихвата. Поэтому необходимо продувательно определить нагруженность бурильных колонн (жесткими или деформируемыми трубами) в условиях прихвата.

Пусть контакт труб происходит на глубине l_1 от дневной поверхности, на участке колонны длиной l_2 . Рассмотрим колонну с компоновкой из стальных труб общей длиной $L_c = l_1 + l_2 + l_3$ (l_3 - длина участка стальной трубы, находящегося ниже участка контакта) и труб из алюминиевого сплава с общей длиной l_4 (рис.1). До приложения внешнего усилия концы колонны свободны от напряжения, а колонна под действием силы тяжести и суммарной силы сцепления

находится в состоянии равновесия. Основной задачей ликвидации прихвата заключается в нарушении этого равновесия путем воздействия (механического, химического и др.) на зону сцепления или колонну с целью ослабления (разрушения контакта) силы сцепления ее со стенками скважины [1-4]. Полагаем, что контакт поверхности трубы со стенками скважины происходит по закону сухого трения Кулона, при этом считаем, что удерживающей колонну в равновесном состоянии является суммарная сила трения, пропорциональная внешнему гидростатическому давлению и линейно зависящая от глубины расположения сечения колонны. Направим ось Ox - вдоль оси колонны сверху вниз и начало координат поместим в начальном торце (рис.1).

Уравнение равновесия для сечений колонны под действием собственного веса с учетом силы бокового трения в зоне контакта записывается для каждой участки в виде:

$$\begin{aligned} \frac{d\sigma}{dx} &= -\gamma && \text{при } 0 \leq x \leq l_1 \text{ и } l_1 + l_2 \leq x \leq L, \\ \frac{d\sigma}{dx} &= -\gamma + \gamma_0 x && \text{при } l_1 \leq x \leq x_0 \text{ и } x_1 \leq x \leq l_1 + l_2, \\ \sigma &= 0 && \text{при } x_0 \leq x \leq x_1, \\ \frac{d\sigma}{dx} &= -\gamma && \text{при } x_1 \leq x \leq L_0, \\ \frac{d\sigma}{dx} &= -\gamma_1 && \text{при } L_0 \leq x \leq L, \end{aligned} \quad (1)$$

где σ - осевое напряжение в произвольном сечении колонны; x_0 и x_1 координаты начала и конца участка неподвижности (прихвата) колонны под действием силы трения, определяемые из непрерывности напряжения в этих сечениях; γ - плотность материала труб колонны; $\gamma_0 = \frac{4D\gamma_n f k}{D^2 - d^2}$, $k = \frac{\nu}{1 - \nu}$ - коэффициент бокового отпора породного массива; γ_n и ν - плотность и коэффициент Пуассона для породы; f - коэффициент трения между колонной и породного массива; D и d - внешний и внутренний диаметры трубы;

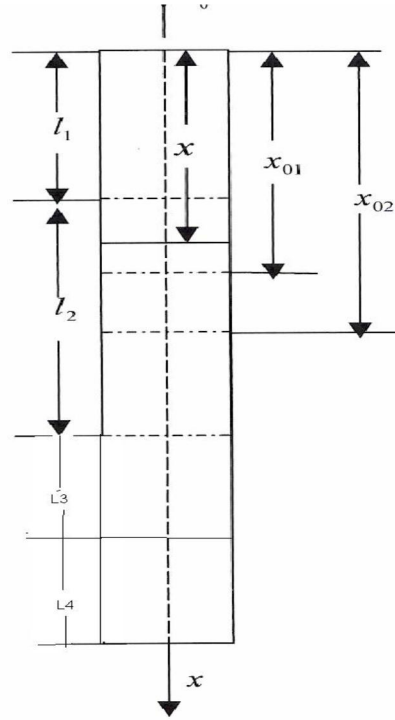


Рис.1. Расчетная схема деформируемой колонны при действии статической осевой силы P_0

Интегрируя уравнения (1) с условиями $\sigma = 0$ при $x = 0, x = L$, получаем:

$$\begin{aligned}
 \sigma &= -\gamma x && \text{при } 0 \leq x \leq l_1, \\
 \sigma &= -\gamma x + 0.5\gamma_0(x^2 - l_1^2) && \text{при } l_1 \leq x \leq x_0, \\
 \sigma &= 0 && \text{при } x_0 \leq x \leq x_1, \\
 \sigma &= -\gamma x + 0.5\gamma_0(x^2 - (l_1 + l_2)^2) + (\gamma - \gamma_1)L_0 + \gamma_1 L && \text{при } x_1 \leq x \leq l_1 + l_2, \\
 \sigma &= -\gamma x + (\gamma - \gamma_1)L_0 + \gamma_1 L && \text{при } l_1 + l_2 \leq x \leq L_0, \\
 \sigma &= -\gamma_1(x - L) && \text{при } L_0 \leq x \leq L.
 \end{aligned} \tag{2}$$

Из условия непрерывности напряжения в сечениях $x = x_0$ и $x = x_1$ следует

$$x_0 = c + \sqrt{c^2 + l_1^2}, \quad x_1 = c + \sqrt{c^2 + (l_2 + l_1)^2} - b, \quad b = 2[(c - c_1)L_0 + c_1 L], \quad c = \frac{\gamma}{\gamma_0}, \quad c_1 = \frac{\gamma_1}{\gamma_0}.$$

Длина зоны неподвижности колонны будет равна

$$l = x_1 - x_0 = \sqrt{c^2 + (l_2 + l_1)^2} - b - \sqrt{c^2 + l_1^2}.$$

Из формул (2) следует, что участки колонны $l_1 \leq x \leq x_0$ и $x_1 \leq x \leq l_1 + l_2$ соответственно находятся в состоянии сжатия и растяжения, а участок сцепления со стенками скважины $x_0 \leq x \leq x_1$ - в недеформируемом состоянии.

Именно этот участок является зоной прихвата колонны, для ликвидации которого необходимо оказать различные виды воздействий на колонну вблизи этого участка.

Рассмотрим действие растягивающей нагрузки P_0 на торец $x = 0$ колонны. Напряженное состояние колонны в зависимости от величины $\sigma_0 = \frac{P_0}{F}$ определяется для каждого участка

разными формулами:

когда $0 \leq \sigma_0 \leq \sigma_{01}$;

$$\begin{aligned}
 \sigma &= -\gamma x + \sigma_0 && \text{при } 0 \leq x \leq l_1, \\
 \sigma &= -\gamma x - 0.5\gamma_0(x^2 - l_1^2) + \sigma_0 && \text{при } l_1 \leq x \leq x_{01}, \\
 \sigma &= -\gamma x + 0.5\gamma_0(x^2 - l_1^2) && \text{при } x_{01} \leq x \leq x_0, \\
 \sigma &= 0 && \text{при } x_0 \leq x \leq x_1, \\
 \sigma &= -\gamma x + 0.5\gamma_0(x^2 - (l_1 + l_2)^2) + (\gamma - \gamma_1)L_0 + \gamma_1 L && \text{при } x_1 \leq x \leq l_1 + l_2, \\
 \sigma &= -\gamma x + (\gamma - \gamma_1)L_0 + \gamma_1 L && \text{при } l_1 + l_2 \leq x \leq L_0, \\
 \sigma &= -\gamma_1(x - L) && \text{при } L_0 \leq x \leq L
 \end{aligned} \tag{3}$$

когда $\sigma_{01} \leq \sigma_0 \leq \sigma_{02}$;

$$\begin{aligned}
 \sigma &= -\gamma x + \sigma_0 && \text{при } 0 \leq x \leq l_1, \\
 \sigma &= -\gamma x - 0.5\gamma_0(x^2 - l_1^2) + \sigma_0 && \text{при } l_1 \leq x \leq x_{02}, \\
 \sigma &= 0 && \text{при } x_{02} \leq x \leq x_1, \\
 \sigma &= -\gamma x + 0.5\gamma_0(x^2 - (l_1 + l_2)^2) + (\gamma - \gamma_1)L_0 + \gamma_1 L && \text{при } x_1 \leq x \leq l_1 + l_2, \\
 \sigma &= -\gamma x + (\gamma - \gamma_1)L_0 + \gamma_1 L && \text{при } l_1 + l_2 \leq x \leq L_0, \\
 \sigma &= -\gamma_1(x - L) && \text{при } L_0 \leq x \leq L
 \end{aligned} \tag{4}$$

когда $\sigma_{02} \leq \sigma_0 \leq \sigma_{03}$

$$\begin{aligned}
 \sigma &= -\gamma x + \sigma_0 && \text{при } 0 \leq x \leq l_1, \\
 \sigma &= -\gamma x - 0.5\gamma_0(x^2 - l_1^2) + \sigma_0 && \text{при } l_1 \leq x \leq x_{03}, \\
 \sigma &= -\gamma x + 0.5\gamma_0(x^2 - (l_1 + l_2)^2) + (\gamma - \gamma_1)L_0 + \gamma_1 L && \text{при } x_1 \leq x \leq l_1 + l_2, \\
 \sigma &= -\gamma x + (\gamma - \gamma_1)L_0 + \gamma_1 L && \text{при } l_1 + l_2 \leq x \leq L_0, \\
 \sigma &= -\gamma_1(x - L) && \text{при } L_0 \leq x \leq L
 \end{aligned} \tag{5}$$

когда $\sigma_0 \geq \sigma_{03}$;

$$\begin{aligned}
 \sigma &= -\gamma x + \sigma_{03} && \text{при } 0 \leq x \leq l_1, \\
 \sigma &= -\gamma x - 0.5\gamma_0(x^2 - l_1^2) + \sigma_{03} && \text{при } l_1 \leq x \leq l_1 + l_2, \\
 \sigma &= -\gamma x + 0.5\gamma_0(x^2 - (l_1 + l_2)^2) + (\gamma - \gamma_1)L_0 + \gamma_1 L && \text{при } x_1 \leq x \leq l_1 + l_2, \\
 \sigma &= -\gamma x + (\gamma - \gamma_1)L_0 + \gamma_1 L && \text{при } l_1 + l_2 \leq x \leq L_0, \\
 \sigma &= -\gamma_1(x - L) && \text{при } L_0 \leq x \leq L
 \end{aligned} \tag{6}$$

$$\text{где } x_{01} = \sqrt{l_1^2 + \frac{\sigma_0}{\gamma_0}}, \quad x_{02} = \sqrt{c^2 + l_1^2 + \frac{2\sigma_0}{\gamma_0}} - c,$$

$$x_{03} = \sqrt{\frac{1}{2}[l_1^2 + (l_1 + l_2)^2] + \frac{\sigma_0}{\gamma_0}} - (c - c_1)L_0 - c_1 L, \quad \sigma_{01} = \gamma_0(x_0^2 - l_1^2),$$

$$\sigma_{02} = \frac{\gamma_0}{2}[(x_1 + c)^2 - c^2 - l_1^2], \quad \sigma_{03} = \gamma L + \frac{\gamma_0}{2}[(l_1 + l_2)^2 - l_1^2]$$

Из формул (6) видно, что наличие зоны прихвата дополнительно увеличивает силы, необходимые для подъема колонны на дневную поверхность (сила подъема свободной колонны) на величину

$$P_{\text{дон}} = F\sigma_{03} = \frac{\gamma_0 F}{2} [(l_1 + l_2)^2 - l_1^2].$$

Каждая из схем напряженного состояния, определяемого в соответствии с формулами (2) - (6), может быть реализована, если выполняется условие прочности: $\sigma_{0i} \leq [\sigma]$, ($[\sigma]$ - допустимое напряжение при растяжении (сжатии) для труб колонны, назначаемое нормативными требованиями). При нарушении этого условия ликвидация прихвата становится невозможной.

При реализации напряженного состояния, где напряжения определяются по формулам (2) зона неподвижности еще сохраняется и колонна освобождается от прихвата частично, если только не происходит нарушение условия прочности для труб колонны. При реализации напряженного состояния, где напряжения уже определяются по формулам (6), зона неподвижности полностью исчезает и, таким образом, возникает возможность ликвидации прихвата, но при этом следует проверить условие выполнения прочности. Требуется выполнение условия $\sigma_{01} = \gamma_0(x_1^2 - l_1^2) = [\sigma]$ (частичное освобождение от прихвата), откуда с учетом выражения для x_1 , находим:

$$2c^2 + 2c\sqrt{c^2 + z^2 + l_1^2} + z = kcL; \quad (z = (l_1 + l_2)^2 - l_1^2 - b, k = \frac{[\sigma]}{\gamma L}). \quad (7)$$

Равенство (7) устанавливает связь между параметрами L, l_1, l_2, γ и γ_0 , при выполнении которой обеспечивается условие прочности для труб колонны.

Таким образом, если длина участка колонны l_1 удовлетворяет неравенству $l_1 > l_{1k}$, то условие прочности будет нарушено, прежде чем происходит частичное освобождение колонны от прихвата. Пусть условие прочности нарушается прежде, чем исчезает зона неподвижности, тогда следует полагать, что $\sigma_{02} = [\sigma]$, откуда имеем $\gamma_0(x_1^2 + 2x_1c - l_1^2) = 2[\sigma]$. Разрешив это уравнение относительно x_1 , определим предельное значение координаты начала прихвата, где происходит обрыв колонны, прежде чем исчезает зона неподвижности.

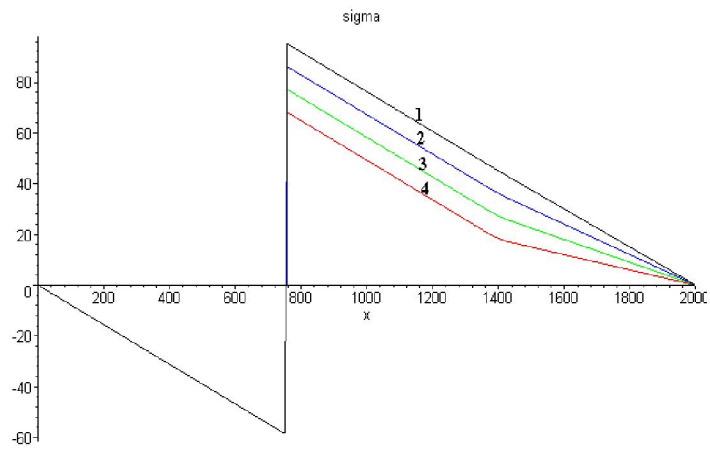
На рис.2 представлены графики распределения напряжения по длине колонны, состоящей из стальной и легкосплавной труб с различным удельным весом γ_1 , и соответствующими длинами L_0 и l_4 . В расчетах приняты: $l_1 = 750\text{м}$, $l_2 = 10\text{м}$, $l_3 = 640\text{м}$, $l_4 = 600\text{м}$, $[\sigma] = 95\text{МПа}$, $D = 101\text{мм}$, $d = 83.5\text{мм}$, $\gamma_n = 20\text{кН/м}^3$, $\gamma = 78\text{кН/м}^3$, $f = 0.1$, $\nu = 0.1$

В таблице 1 представлены длины неподвижной части стальной трубы $l = x_1 - x_{10}$ (м) для различных значений удельного веса γ_1 (кН/м^3) и продольного усилия P_0 (Н).

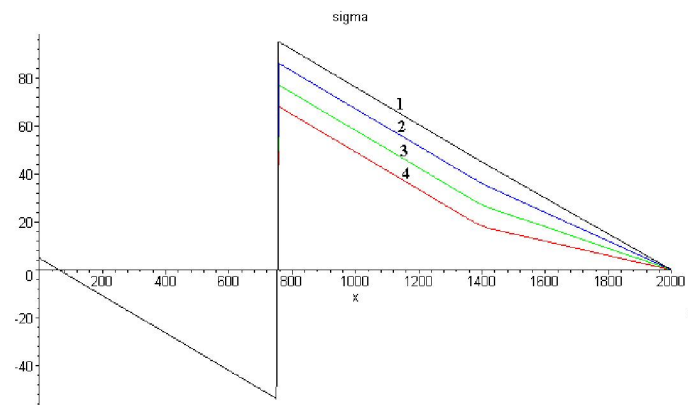
Таблица 1 - Длина неподвижной части колонны

P_0 / γ_1	0	0.2МН	0.6МН	1МН	2МН	4МН
78кН/м ³	5.3921	5.2739	5.0375	4.8011	4.2106	3.0309
60кН/м ³	5.908	5.7898	5.5534	5.3171	4.7265	3.5469
45кН/м ³	6.3377	6.2195	5.9831	5.7467	5.1562	3.9765
30кН/м ³	6.7671	6.6489	6.4225	6.1761	5.5856	4.4056

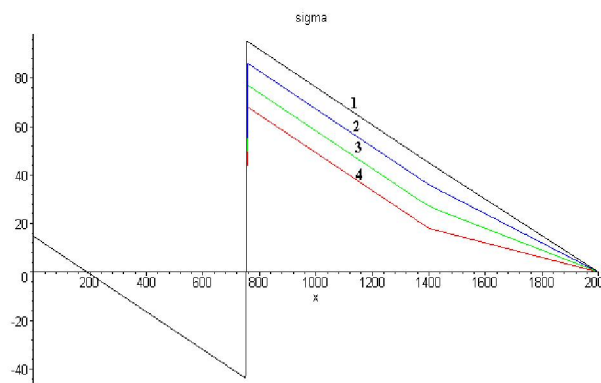
$$P_0 = 0$$



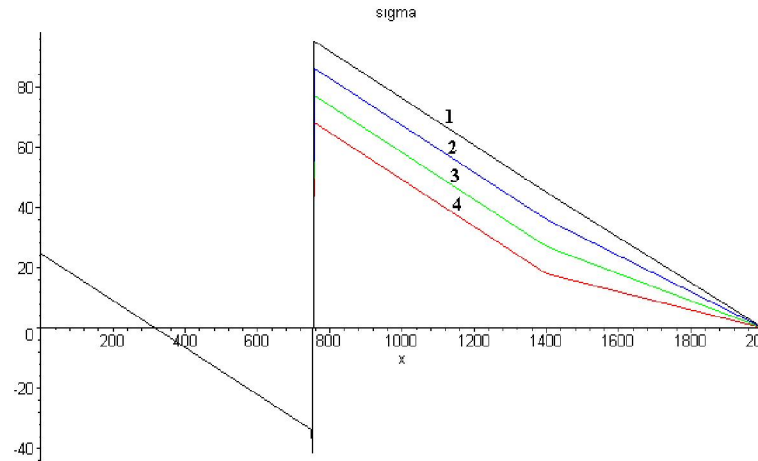
$$P_0 = 0.2MH$$



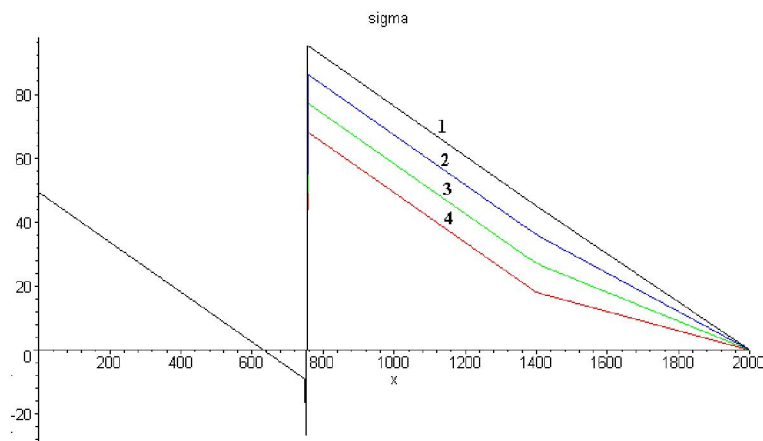
$$P_0 = 0.6MH$$



$$P_0 = 1MH$$



$$P_0 = 2MN$$



$$P_0 = 4MN$$

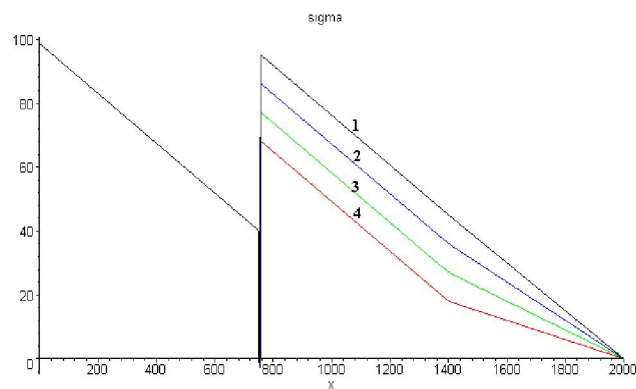


Рис. 2. Распределение осевого напряжения $\sigma = \text{sigma}$ (МПа) по длине колонны легкосплавной трубы и осевого усилия P_0 (МН) для различных значений удельного веса γ_1 (kH/m^3): 1 – $78\text{kH}/\text{m}^3$,
2 – $60\text{kH}/\text{m}^3$, 3 – $45\text{kH}/\text{m}^3$, 4 – $30\text{kH}/\text{m}^3$

Из графиков видно, что до приложения осевого усилия P_0 наибольшее напряжение возникает в сечении колонны $x = x_0$. Далее, с ростом значения осевого усилия, напряжение увеличивается только в участке колонны $0 < x < l_1$, максимальное значение его достигается в сечении $x = 0$ (для

$P_0 = 4МН$ напряжение равняется допустимому), при этом длина зона неподвижности уменьшается. Причем наличие легкосплавной трубы приводит к уменьшению значения максимального напряжения в сечении $x = x_0$. Так, например, для $\gamma_1 = 78 \text{ кН/м}^3$ (кривые черного цвета, стальная труба) имеем $\sigma_{\max} \approx 96 \text{ МПа}$, для $\gamma_1 = 45 \text{ кН/м}^3$ (кривые зеленого цвета, легкосплавная труба) - $\sigma_{\max} \approx 84 \text{ МПа}$. Длина зоны неподвижности при этом снижается до меньших значений; например, для $\gamma_1 = 78 \text{ кН/м}^3$ и $P_0 = 2МН$ из таблицы имеем $l = 4.21\text{м}$, для $\gamma_1 = 45 \text{ кН/м}^3$ $l = 5.16\text{м}$.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Александров М.М. Взаимодействие колонн труб со стенками скважины. -М.: 1982. 75 с.
- [2] Билицкий Т.В. Взаимодействие буровой колонны с забоем скважины. -М.: «Недра», 1975. - 256 с.
- [3] Рабинович Н.Р. Определение сил прихвата труб в скважине под действием перепада давления – Нефтяное хозяйство, 1981, №6 с. 13-16
- [4] Морарь Г.А., Попов Г.Я. К теории контактных задач для цилиндрических тел с учетом сил трения. Изв.АН СССР, МТТ, 1976, №2

REFERENCES

- [1] Alexandrov M.M. Interaction of the pipe column with the borehole wall. -M.: 1982. 75 p. (in Russ.).
- [2] Bilitsky T.V. Interaction of the drillstring with the borehole bottom. -M.: "Nedra", 1975. - 256 p. (in Russ.).
- [3] Rabinovich N.R. Determination of forces stuck of pipe in the well under pressure drop - Oil Industry, 1981, №6 p.13-16. (in Russ.).
- [4] Morar G.A., Popov G.Ya. On the theory of contact problems for cylindrical bodies with friction forces. News AS USSR, MTT, 1976, №2. (in Russ.).

Бекіту жағдайындағы бұрғылау құбыры бағанына статикалық қысымын анықтау

А. Бараев¹, М.Ж. Жұмабаев¹, И.И. Жанұзақов, А.С. Түліп³, М. Бариев⁴

¹- Оңтүстік Қазақстан Мемлекеттік педагогикалық институт, Шымкент қ., Қазақстан.

²-Атырау мұнай және газ институты, Атырау, Қазақстан.

³-А. Яссауи атындағы Халықаралық Қазақ-Түрік университеті, Түркістан, Қазақстан.

⁴-Ө. Бируни атындағы Ташкент Мемлекеттік техникалық университеті, Өзбекстан.

Кілт сөздер: бекіту, статикалық қысым, бұрғылау құбыры бағаны.

Аннотация. Бағананың бүкіл ұзындығын бірепше бөліктерге бөлу арқылы әр бөлшекке статикалық қысымның күйі анықталады. Бекітудің алдын алуға мүмкіндік беретін қажетті алғышарттар алынды. Өртүрлі құбырлардан тұратын бағананың статикалық қысымы зерттелінді.

Поступила 16.02.2015 г.