

УДК 622.24

Р. А. Гасанов¹, И. Я. Ширали², И. З. Гасанов³, В. Р. Джамалов⁴

¹Азербайджанская Государственная Нефтяная Академия

²Государственная Нефтяная компания Азербайджанской Республики

³Азербайджанский Международный Университет

⁴AMEC services LTD

ОЦЕНКА ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПОРОДОРАЗРУШАЮЩИХ ИНСТРУМЕНТОВ В ПРОСТРАНСТВЕННО ИСКРИВЛЕННЫХ СКВАЖИНАХ

In is being considered work the task of axial loading on to rock destruction bit determination in spatial borehole are set up and solved. With this objective interaction of machine aggregation and its elements with the spatial borehole well walls on it different (protuberant, concave and rectilinear) parts for the various drilling process steps have been studied.

Corresponding analytical expressions for evaluation and design of realized drilling process steps technological parameters. Suggested solutions allow to make decisions for decreasing of rock destruction power intensity of the spatial borehole drilling process.

Известно, что с увеличением глубины и отклонения ствола наклонной скважины от вертикали из-за неопределенности условий взаимодействия бурового машинного агрегата с ним вопросы определения нагрузок на крюке при движении бурильных и обсадных колонн по стволу приобретают, важное значение. Однако сложность и разнообразие условий трения и механизмов взаимодействия контактирующих поверхностей значительно затрудняют их изучение. Тем не менее, во многих исследовательских работах [1 – 5] большое внимание уделяется изучению сил трения, возникающих между взаимодействующими поверхностями, обсадных, бурильных труб и стенок скважин.

В настоящее время мало изучены вопросы влияния фактического геометрического очертания ствола и его пространственной формы искривления, скорости движения бурильных и обсадных колонн по стволу, отклонения забоя скважины от вертикали и других факторов на нагрузку, действующую на крюк. В этой связи подъемные механизмы и оборудование буровых установок для бурения наклонных скважин проектируют без учёта указанных факторов.

В связи с изложенным, вопрос разработки рациональной методики определения нагрузки, действующей на крюк при движении бурильных и обсадных колонн в пространственно искривлённой скважине приобретает, как теоретическое, так и практическое значение.

Для решения поставленной задачи предположим, что при бурении скважины траектория ствола получила форму пространственной кривой (рис. 1.), состоящей из нескольких участков вертикального OD , вогнуто-искривлённого DE , прямолинейно-наклонного EF и выпукло-искривлённого FM .

В интервале увеличения зенитного угла, т. е. на вогнутом участке траектории ствола выделяется элемент AB трубы длиной dL и рассматривается движение этого элемента снизу вверх.

Предположим, что колонна труб по всей

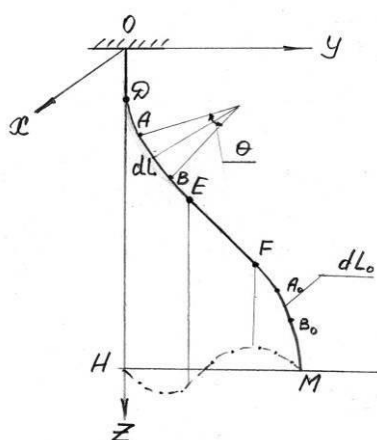


Рис. 1. Образец профиля пространственного типа

длине движется по нижней стенке ствола. При движении колонн с ускорением W на этот элемент будут действовать следующие силы (рис. 2):

- вертикальная сила тяжести элемента $AB - dQ$;
- нормальная сила реакции стенки скважины $-dN$;
- сила инерции элемента dF_U , действующая по касательной к элементу и направленная противоположно его движению;
- сила сопротивления dF_C в противоположная движению и направленная касательной к элементу;
- сила реакции нижней отброшенной части элемента труб $-T$;
- сила реакции верхней части элемента труб $-T + dT$.

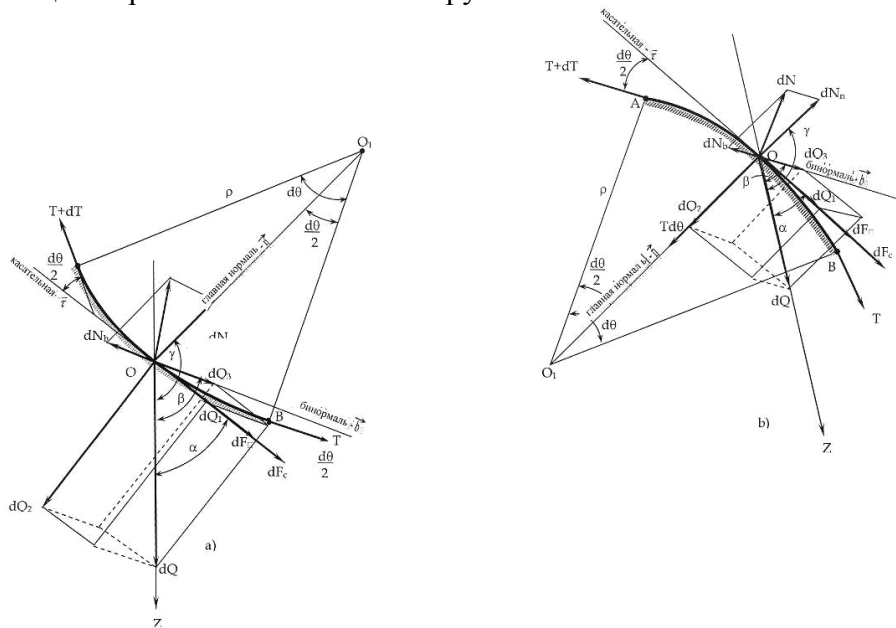


Рис. 2. Схема нагружения элемента AB на участках набора (рис. 2,а) и уменьшения (рис. 2,б) зенитного угла при движении его вверх по пространственно искривлённому стволу скважины.

Движение элементарного участка AB длиной dL рассматривается в естественной системе координат с координатными осями в направлениях касательной τ , главной нормали n и бинормали b к нему.

Для равновесия в этой системе координат действующей на движущийся с ускорением W элементарный участок AB системы сил согласно принципу Даламбера должно удовлетворяться равенство нуля её проекции на координатные оси:

$$\begin{cases} -(T + dT) \cos \frac{|d\theta|}{2} + T \cos \frac{d\theta}{2} + dQ_1 + dF_C + dF_U = 0 \\ (T + dT) \sin \frac{|d\theta|}{2} - dQ_2 + T \sin \frac{|d\theta|}{2} + dN_H = 0 \\ dQ_3 - dN_b = 0 \end{cases} \quad (1)$$

где dN_H, dN_b – Проекция силы реакции стенки dN на направления главной нормали и бинормали; dQ_1, dQ_2, dQ_3 , – проекция силы тяжести элемента AB , на направления соответственно касательной, главной нормали и бинормали.

Согласно данным рис. 2. значения dQ_1, dQ_2 и dQ_3 могут быть определены из следующих уравнений

$$\begin{cases} dQ_1 = qdL \cos \alpha; \\ dQ_2 = qdL \cos(180 - \gamma) = -qdL \cos \gamma \\ dQ_3 = qdL \cos \beta, \end{cases} \quad (2)$$

где q – средний вес единицы длины колонны с учётом облегчения в растворе; α, β, γ – углы между осью OZ или направлением силы тяжести элемента AB и направлениями, соответственно, касательной, главной нормали и бинормали.

Углы α, β, γ характеризуют направляющие косинусы силы тяжести элемента "AB" относительно направления естественных координатных осей, которые определяются по известным выражениям

$$\begin{cases} \cos \alpha = \frac{dZ}{dL}; \\ \cos \gamma = \rho \frac{d^2 Z}{dL^2}; \\ \cos \beta = \sqrt{1 - \cos^2 \alpha - \cos^2 \gamma}; \end{cases} \quad (3)$$

где ρ – радиус пространственного искривления ствола скважины в точке O – центре тяжести элемента AB , dL – длина элемента AB .

Обозначив центральные углы через $d\alpha$ и $d\theta$, а радиусы кривизны через R и при плоском и пространственном искривлении, значения $d\alpha$, можно определить из следующих равенств

$$\begin{aligned} dl &= R d\alpha; \\ dL &= \rho d\theta. \end{aligned}$$

Поскольку $d\alpha$ и $d\theta$ относятся к малым углам, тогда с незначительной погрешностью можно принять, что проекция элемента AB на направление касательной равна её длине.

$$d\alpha = dl = \rho d\theta = R d\alpha$$

откуда

$$d\theta = \frac{R}{\rho} d\alpha, \quad (4)$$

На определенном участке труб, длиной ΔL кривизна ствола при плоском и пространственном искривлениях, соответственно, равны $\Delta\alpha = \frac{\Delta L}{R}$ и $\Delta\theta = \frac{\Delta L}{\rho}$.

Приняв что, $\frac{\Delta\theta}{\Delta\alpha} = \frac{R}{\rho} = m$, тогда из равенство (4) получается, что

$$d\theta = \frac{\Delta\theta}{\Delta\alpha} d\alpha = m d\alpha, \quad (5)$$

где $\Delta\theta$ – пространственный угол искривления по известному методу [6]:

$$\Delta\theta = \sqrt{\Delta\alpha^2 + (2\alpha_{cp} \cdot \sin \frac{\Delta\varphi}{2})^2} \quad (6)$$

$$\alpha_{cp} = (\alpha_H + \alpha_k) / 2; \quad (7)$$

где $\Delta\alpha = \alpha_k - \alpha_H$; $\Delta\varphi = \varphi_k - \varphi_H$; α_H и α_k – зенитный угол в начале и конце интервала; φ_H и φ_k – азимут в начале и конце интервала; α_{cp} – средний зенитный угол в рассматриваемом интервале.

Подставив значение $\Delta\theta$ из (6) в (5) и решив относительно коэффициента m , учитывая пространственную форму искривления скважины для его определения получаем нижеприводимое выражение

$$m = \sqrt{1 + \left(\frac{2\alpha_{cp}}{\Delta\alpha} \sin \frac{\Delta\varphi}{2} \right)^2} \quad (8)$$

При известном значении коэффициента m с использованием системы уравнений (3) направляющие косинусы силы тяжести относительно естественных координатных осей можно определить из следующих равенств:

$$\begin{cases} \cos \alpha = \cos \alpha; \\ \cos \gamma = \pm \frac{\sin \alpha}{m}; \\ \cos \beta = \frac{k}{m} \sin \alpha \end{cases} \quad (9)$$

где знаки « \pm » относятся к выпуклому и вогнутому участкам ствола скважины. Соответственно на рис. 3 показаны схемы для определения прижимающей элемент AB силы к стенке скважины бурильной колонны, силы при её движении по пространственно искривлённому стволу, имеющего вогнутые и выпуклые участки.

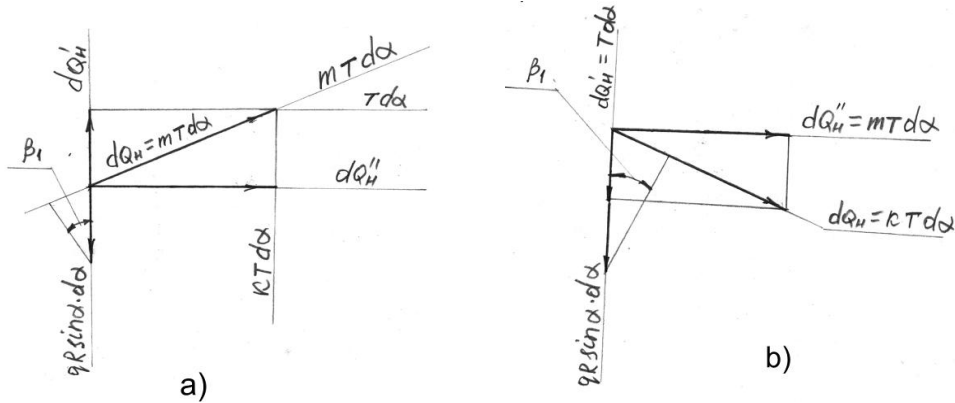


Рис. 3. Схемы сил, способствующих прижатию элемента колонны к стенке ствола скважины при её пространственном искривлении.

Из рисунка 3 видно, что активными силами, прижимающие элемент AB к стенке являются dQ_H и $dQ = qR \sin \alpha \cdot d\alpha$

Величина dQ_H является проекцией текущей реакции T на направление главной нормали, с учётом (5) определяемой по

$$dQ_H = Td\theta = mTd\alpha$$

Проекция этой силы на направление силы тяжести элемента равна $dQ_H' = Td\alpha$, а другая составляющая dQ_H'' согласно рис. 3 может быть определена по

$$dQ_H'' = \sqrt{(mTd\alpha)^2 - (Td\alpha)^2} = KTd\alpha,$$

где $K = \sqrt{m^2 - 1}$

Элементарная прижимающая сила согласно рис. 3

$$dN = \sqrt{(mT)^2 + (qR \sin \alpha)^2 - 2mTqR \sin \alpha \cdot \cos(90^\circ + \beta_1)} d\alpha \quad (10)$$

С учётом того, что согласно рис. 3 $\sin \beta_1 = \frac{mT}{mT} = \frac{1}{m}$, получаем

$$dN = \sqrt{(mT)^2 + (qR \sin \alpha)^2 - 2TqR \sin \alpha} d\alpha. \quad (11)$$

Как видно из (10) элементарная прижимающая сила равна геометрической сумме двух сил, а именно mT и $qR \sin \alpha$.

Таким образом, зная коэффициент m и направляющих косинусов силы тяжести относительно естественных координатных осей, даёт возможность определять все действующие на элемент AB колонны силы, входящие в систему уравнения (1)

$$\begin{cases} dQ_1 = mq \rho \cos \alpha \cdot d\alpha; \\ dQ_2 = q\rho \sin \alpha d\alpha; \\ dQ_3 = kq\rho \sin \alpha \cdot d\alpha; \\ dQ = q\rho d\theta = mq \rho d\alpha; \\ dF_m = \frac{qw}{g} dL = \frac{qw}{g} \rho m d\alpha; \\ dF_c = fdN_H, \end{cases} \quad (12)$$

где f – коэффициент сопротивления.

Путём совместного решения (1) и (11) формируется условия равновесие сил, действующие на элемент колонн при её движении по стволу пространственно искривлённой скважины, в виде:

$$\begin{aligned} dT &= mq \rho \cos \alpha \cdot d\alpha + fdN_H + \frac{mq}{g} w \rho d\alpha; \\ dN_H &= -mTd \alpha + q\rho \sin \alpha \cdot d\alpha; \\ dN_B &= Kq \rho \sin \alpha \cdot d\alpha \end{aligned} \quad (13)$$

Из системы (12) определяется, что

$$\frac{dT}{d\alpha} + \mu T = \mu q \rho \left(\cos \alpha + \frac{f}{m} \sin \alpha + \frac{w}{g} \right) \quad (14)$$

Для вогнутого участка ствола из-за того, что $d\alpha$ имеет отрицательный знак и $R = m\rho$ уравнения (13) принимает вид

$$\frac{dT}{d\alpha} - \mu T = -qR \left(\cos \alpha + \frac{f}{m} \sin \alpha + \frac{w}{g} \right), \quad (15)$$

где $\mu = mf$.

Для выпуклого участка при движении колонны труб по нижней стенке ствола условие равновесия сил, действующих на элемент AB согласно рис. 2,б:

$$\begin{cases} dT = mq \rho \cos \alpha d\alpha + fdN_H + \frac{q}{g} m \rho w d\alpha; \\ dN_H = mTd \alpha + q\rho d \sin \alpha \cdot d\alpha; \\ dN_B = kq\rho \sin \alpha \cdot d\alpha. \end{cases} \quad (16)$$

Отсюда для выпуклого участка ствола имеем ниже приводимое уравнение:

$$\frac{dT}{d\alpha} - \mu T = qR \left(\cos \alpha + \frac{f}{m} \sin \alpha + \frac{w}{g} \right). \quad (17)$$

По аналогии с изложенной методикой, силы натяжения, действующие на элемент AB при движении его вниз:

$$\frac{dT}{d\alpha} \pm \mu T = \pm qR \left(\cos \alpha \mp \frac{f}{m} \sin \alpha - \frac{w}{g} \right), \quad (18)$$

где знаки « \pm » перед μT и qR относятся к выпуклому и вогнутому участкам ствола скважины.

При движении элемента колонны труб вверх и вниз по прямолинейно наклонному стволу согласно условиям равновесия сил (см. рис. 1, б) дифференциальное уравнение для определения текущего натяжения может представлено в виде

$$\frac{dT}{d\alpha} + \mu T = qR \left(\cos \alpha \pm f \frac{k}{m} \sin \alpha \pm \frac{w}{g} \right) \quad (19)$$

где знак «+» характеризует движение колонны вверх, а «-» – вниз.

Таким образом, путём решения дифференциальных уравнений (17) – (18) определяется натяжение на верхнем конце колонны труб при подъёме и спуске их через ствол скважины, имеющий вогнутый, выпуклый и прямолинейно наклонный.

Единственность решения задач, указанными дифференциальными уравнениями обеспечивается граничными условиями.

$$\begin{cases} T = T_H \\ T = T_B \end{cases} \quad \text{при } \alpha = \alpha_k; \text{ при } \alpha = \alpha_H, \quad (20)$$

где T_b, T_H – силы натяжения на верхнем и нижнем концах исследуемого участка труб; α_H и α_k – зенитные углы в начале и конце рассматриваемого участка ствола скважины.

Таким образом, интегрированием уравнений (17), (18) при граничных условиях (19) при спускоподъемных операциях определяются текущие силы натяжения на верхнем конце труб колонны при различных вариантах ее взаимодействия со стенками скважины.

По результатам решения математической модели для различных вариантов взаимодействия колонны со стенками скважины и ее движения по стволу определяем силы натяжения:

для вогнутого участка ствола.

$$T_{\text{вог}} = T_0 \cdot e^{\pm\psi} + \frac{qR}{1 + \mu^2} \left[(1 - f^2)(e^{\pm\psi} \sin \alpha_k - \sin \alpha_H) \pm f \frac{1 + m^2}{m} (\cos \alpha_H - e^{\pm\psi} \cos \alpha_k) \right] \pm \frac{qRw}{\mu g} (e^{\pm\psi} - 1) \quad (21)$$

для выпуклого

$$T_{\text{вогн}} = T_T \cdot e^{\pm\psi} + \frac{qR}{1 + \mu^2} \left[(1 - f^2)(e^{\pm\psi} \sin \alpha_k - \sin \alpha_H) \pm f \frac{1 + m^2}{m} (\cos \alpha_H - e^{\pm\psi} \cos \alpha_k) \right] \pm \frac{qRw}{g} (e^{\pm\psi} - 1) \quad (22)$$

Для определения сил натяжения при различных направлениях движения труб и условии их соприкосновения со стенками скважины, а также при различных конфигурациях ствола необходимо использовать в формулах (19) и (20) знаки, приведенные в таблице.

Направления движения колонны труб и свойственный вариант взаимодействия со стенками ствола скважины

Направление движение труб	Форма искривлённого участка	Стенки на котором прижаты трубы	Знаки в формулах (20) и (21)		
			Перед показательной функцией $e^{\pm\psi}$	Перед вторым членом квадратной скобки	Перед третьим членом формулы
Вверх	вогнутый	нижний	+	-	+
		верхний	-	+	-
Вниз	выпуклый	нижний	-	-	+
		верхний	+	+	+
	выпуклый	нижний	-	+	-
		верхний	+	-	+
вогнутый	нижний	-	+	+	
	верхний	+	-	-	

Для различных конструкций ствола скважины в зависимости от направления движения колонны труб свойственным вариантом взаимодействия обуславливается алгебраическая сумма в выражениях (19) и (20), определяющих её нагруженность.

Литература

1. Александров М. М. Определение сил сопротивления при бурении скважин. – М.: Недра.–1965.–176 с
2. Александров М. М. Силы сопротивления при движении труб в скважине. – М.: Недра.–1978.–209 с
3. Махмудов Д. М. Методика определения коэффициента сопротивления в бурящейся наклонной скважине// АНХ.–№5.–1965.–с.14-15
4. Сеид-Рза М. К., Муфидзаде Р. Г. К вопросу о силах сопротивления при движении труб в скважине // АНХ.–1988.–№3.–с. 27–29
5. Определение коэффициента трения при движении труб в наклонной скважине / Гулизаде М. П., Шахбазбеков К. Б., Иорданов Д. С., Халимбеков Б. М.–Нефть и газ.–1965.–№5.–с. 23.
6. Нәсәнов İ. Z. Maili quyuların әyriiliyinin idarә edilmәsi. Bakı, Şırvannәşr.–2006.– 135 с

Поступила 09.06.10

УДК 622.243

Zhang Xiaoxi, Yang Kaihua, professors, **Zhang Hui**

China University of Geosciences, Wuhan, 430074

**CHINESE SCIENTIFIC DRILLING №1 WELL
DIAMONDS CORING BIT TECHNOLOGY
(ТЕХНИКА БУРЕНИЯ СКВАЖИНЫ № 1
В КНР АЛМАЗНОЙ КОРОНКОЙ)**

Показана комплексная буровая технология с применением винтового двигателя, гидроударника и колонкового бурения алмазной импрегнированной коронкой, при бурении высоковольтных метаморфизованных пород скважины № 1 глубиной 5000 м в КНР. Разработаны оптимальные конструкции коронок и матрицы для предотвращения влияния ударной силы на алмазную коронку. Бурение в твердых породах с использованием разработанной технологии дало позитивные результаты.

Summary [1]

China Continental Scientific Drilling Project is an important Scientific Research programs of China's "Ninth Five-Year Plan". Its main goal is to obtain and research on whole well coring and fluid sampling, and in situ well logging and long-term experiments observations in the region of Donghai, Lianyungang City, northern Jiangsu Province with two boreholes with depth of 2000 m and 5000 m. One of the important jobs of the diamond coring drill bit is to continuously obtain big sized core while drilling in dense and hard, compact, grinding strong, and anisotropy prominent crystal rock.

The challenges of diamond bit in Scientific Drilling №1 well includes:

1. Rock is hard and has great abrasive resistance. The bit has problems cut the rock. The efficiency of drilling is low. Matrix wears out quickly. The lifetime of the bit is too short.
2. Endures impact load of hydro-hammer, matrix of the bit must has high strength. The quality of the diamond must be excellent. The matrix has great holding force toward the diamond.
3. The wall thickness of the bits must be as thin as possible. The diamond bit in the drill has the following basic dimensions: OD of 157 mm, ID of 96 mm, and height of 240 mm.
4. The diameter of the bit is too large and the old manufacturing techniques only support smaller diameters (\varnothing 95 mm or lower). Thus we must completely change the design and the manu-