

- вольтамперометрии с использованием современного программного обеспечения / А.Е. Соколовский, А.К. Болвако, Е.В. Радион, С.В. Черепица // Труды БГТУ: учеб.-метод. работа. – 2011. – № 8 – С. 189–191.
3. Радион, Е.В. Физико-химические методы анализа. Лабораторный практикум: учеб.-метод. пособие для студентов химико-технологических специальностей / Е.В. Радион [и др.]; под ред. Е.В. Радион. – Минск: БГТУ, 2010. – 110 с.
 4. Болвако, А.К. Компьютерная обработка результатов химического анализа [Электронный ресурс]: Метод. рекомендации по дисциплине «Аналитическая химия и физико-химические методы анализа» / сост. А.К. Болвако, Е.В. Радион. – Электрон. текстовые данные. – Минск: БГТУ, 2010. – 49 с.
 5. Руководство ЕВРАХИМ/СИТАК. Количественное описание неопределенности в аналитических измерениях: перевод с англ. – 2-е изд.. – СПб.: ВНИИМ им. Д.И. Менделеева, 2002. – 149 с.
 6. Радион, Е.В. Компьютерный расчет кривых кислотно-основного титрования [Электронный ресурс]: Метод. рекомендации и индивидуальные задания по дисциплине «Аналитическая химия и физико-химические методы анализа» для студентов химико-технологических специальностей / Е.В. Радион, А.К. Болвако. – Минск: БГТУ, 2012. – 41 с.

УДК 622.245.23

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОЛОЖЕНИЯ БУРИЛЬНОЙ КОЛОННЫ
ПРИ ПРОСТРАНСТВЕННОМ ИСКРИВЛЕНИИ СТВОЛА
СКВАЖИНЫ – ЗАЛОГ СОБЛЮДЕНИЯ ЕЁ ПРОЕКТНОГО ПРОФИЛЯ
(ПРАКТИКО-ОРИЕНТИРОВАННОЕ ОБУЧЕНИЕ)**

**CERTAIN PROVISIONS OF THE DRILL STRING AT A SPATIAL BOREHOLE
DEVIATION – PLEDGE COMPLIANCE WITH ITS PROJECT PROFILE
(PRACTICAL-ORIENTATED ADUCATION)**

Рачкевич Р.В., Ивасив В.М., Буй В.В.

Rachkevych R., Ivasiv V., Bui V.

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу
Івано-Франківськ, Україна

Designed criterion for determining the position of the drill string in a spatially curved borehole in the article. Spatial model of deformation of rods used in the calculation. The calculation takes into account the simultaneous action of the drill string weight, torque and tensile force. This technigue uses in practical studies.

Контроль положения и деформации бурильной колонны в скважине является неотъемлемой частью ряда мер по обеспечению повышения технико-экономических показателей строительства нефтяных и газовых скважин. Особенно остро эта задача стоит для скважин с криволинейными участками, в которых колонна бурильных труб подвергается дополнительным изгибающим моментам вызывающим нормальные напряжения в поперечном сечении достигающие, иногда, предела усталости материала труб.

Первостепенной задачей в таких условиях есть определение положения буровой колонны в криволинейном стволе скважины чтобы, в последующем, выбрать наиболее подходящий метод определения напряжений. В работе [1] данная задача решена для случая плоской деформации буровой колонны. Также не учтены совместное влияние собственного веса труб, крутящего момента и изменения азимутального угла на осевую и радиальную деформацию упругой оси колонны. В данной работе сделана попытка учесть выше изложенные факторы в расчете.

В качестве расчетной схемы принята модель висящего пространственного стержня жестко заделанного в одном конце, назовем этот конец верхним, и нагруженного осевой следящей силой и крутящим моментом на другом, нижнем конце. Принято, что до деформации упругая ось стержня была прямолинейной. Для общего случая нагружения система дифференциальных уравнений равновесия в проекциях на связанные оси довольно громоздкая и приводится в работе [2]. Однако для рассмотренного здесь случая в нее необходимо внести следующие изменения

$$P_1 = \tilde{q}_{x_1} l_{11}, \quad P_2 = \tilde{q}_{x_1} l_{21}, \quad P_3 = \tilde{q}_{x_1} l_{31}, \quad (1)$$

$$T_1 = T_2 = T_3 = 0.$$

В формулах (1) \tilde{q}_{x_1} – безразмерная величина веса единицы длины буровой колонны, которая равна

$$\tilde{q}_{x_1} = ql^3 / A_{33},$$

где q, l, A_{33} – вес единицы длины, длина рассматриваемого участка и изгибная жесткость буровой колонны соответственно.

Переменные l_{11}, l_{21}, l_{31} являются элементами матрицы L [2] и равны

$$l_{11} = \cos(\vartheta_2(\varepsilon))\cos(\vartheta_3(\varepsilon));$$

$$l_{21} = -\sin(\vartheta_3(\varepsilon));$$

$$l_{31} = \sin(\vartheta_2(\varepsilon))\cos(\vartheta_3(\varepsilon));$$

где $\vartheta_2(\varepsilon), \vartheta_3(\varepsilon)$ – углы поворота связанной системы координат относительно начального положения; ε – безразмерная длина стержня ($\varepsilon=0..1$).

Решение системы дифференциальных уравнений производится, используя следующие краевые условия

$$u_1(0) = 0; \quad u_2(0) = 0; \quad u_3(0) = 0;$$

$$\vartheta_1(0) = \gamma_0; \quad \vartheta_2(0) = 0; \quad \vartheta_3(0) = 0;$$

$$Q_1(1) = \tilde{P}_1^{(1)}; \quad Q_2(1) = \tilde{P}_2^{(1)}; \quad Q_3(1) = \tilde{P}_3^{(1)};$$

$$M_1(1) = \tilde{T}_1^{(1)}; \quad M_2(1) = 0; \quad M_3(1) = 0.$$

где γ_0 – начальное значение угла $\vartheta_1(\varepsilon)$; $\tilde{P}_1^{(1)}, \tilde{P}_2^{(1)}, \tilde{P}_3^{(1)}$ – безразмерные величины внутренних усилий в сечении с криволинейной координатой $\varepsilon = 1$; $\tilde{T}_1^{(1)}$ – безразмерная величина внутреннего крутящего момента в этом же сечении.

Проекция вектора перемещения на неподвижную, декартову, систему координат равны

$$u_{x_1}(\varepsilon) = l_{11}u_1(\varepsilon) + l_{21}u_2(\varepsilon) + l_{31}u_3(\varepsilon);$$

$$u_{x_2}(\varepsilon) = l_{12}u_1(\varepsilon) + l_{22}u_2(\varepsilon) + l_{32}u_3(\varepsilon);$$

$$u_{x_3}(\varepsilon) = l_{13}u_1(\varepsilon) + l_{23}u_2(\varepsilon) + l_{33}u_3(\varepsilon);$$

Величины $l_{i,j}$ ($i = 1, 2, 3; j = 1, 2, 3$), как было указано выше, являются элементами матрицы L [2].

По отношению к поставленной задаче расчет проводится следующим образом. Пусть в результате инклинометрических исследований получены координаты n точек оси скважины в формате $[x_{li}; x_{NSi}; x_{WEi}; \alpha_i; \gamma_i]$ ($i = 1, 2, 3, \dots, n$). Где x_l – абсолютная глубина, x_{NS} – отклонение вдоль оси «Север - Юг», x_{WE} – отклонение вдоль оси «Запад - Восток», α_i – зенитный угол, γ_i – азимутальный угол. Верхний конец стержня сопоставим с началом неподвижной системы координат. В этой же точке и находится точка $[x_{l1}; x_{NS1}; x_{WE1}; \alpha_1; \gamma_1]$. Подбор длины стержня l и внутренних усилий $\tilde{P}_2^{(1)}, \tilde{P}_3^{(1)}$ совершим таким образом, чтоб нижний конец стержня совпадал с первой точкой $[x_{ln1}; x_{NSn1}; x_{WEn1}; \alpha_{n1}; \gamma_{n1}]$ криволинейного интервала. Отметим, что сила $\tilde{P}_1^{(1)}$ и крутящий момент $\tilde{T}_1^{(1)}$ соответствуют растяжению и кручению буровой колонны находящейся ниже рассматриваемого криволинейного интервала.

Аналогичную операцию повторим для каждой точки криволинейного интервала. Далее, для каждого из полученных таким образом стержней, определяется потенциальная энергия деформации. В качестве искомого результата принимается стержень с минимальным значением потенциальной энергии. Назовем его условной упругой осью буровой колонны.

Следующим этапом расчета является количественная оценка радиального отклонения условной упругой оси буровой колонны от оси скважины в заданных точках.

Для этого определим углы α_{12} и α_{13} в соответствии с рис. 1.

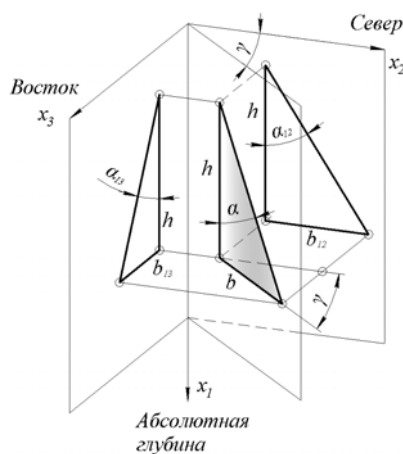


Рис. 1. Расчетная схема к определению углов α_{12} и α_{13}

Запишем

$$b = h \tan \alpha .$$

Также имеем

$$b_{12} = b \cos \gamma ,$$

или

$$b_{12} = h \tan \alpha \cos \gamma .$$

В плоскости $x_1 \theta x_2$ имеем

$$\tan \alpha_{12} = \frac{b_{12}}{h} = \tan \alpha \cos \gamma . \quad (2)$$

Угол α_{13} определяется аналогичным образом, однако формула (2) будет выглядеть

$$\tan \alpha_{13} = \tan \alpha \sin \gamma.$$

Далее рассмотрим плоскость x_1Ox_2 . Используя результаты инклинометрических исследований, выберем любую точку криволинейного ствола с координатами $[x_{1m}; x_{NSm}; x_{WEm}; \alpha_m, \gamma_m]$. Проекция этой точки на плоскость x_1Ox_2 изображена на рис. 2.

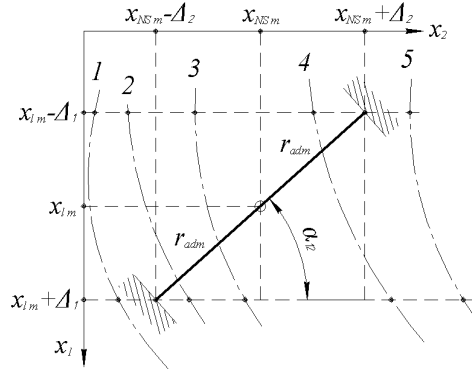


Рис. 2. Расчетная схема к определению положения условной упругой оси бурильной колонны относительно точки

Величину r_{adm} назовем допустимым радиальным отклонением условной упругой оси колонны от оси скважины. Определим с рис.2 величины Δ_1 и Δ_2 . В результате получим

$$\Delta_1 = r_{adm} \sin \alpha_{12}; \quad (3)$$

$$\Delta_2 = r_{adm} \cos \alpha_{12}. \quad (4)$$

На рис. 2, для примера, изображено 5-ть возможных положений условной упругой оси колонны относительно рассматриваемой точки. Анализируя их можем отметить следующее:

– бурильная колонна в данной точке контактирует с верхней частью ствола скважины при выполнении условий:

$$u_{x_2}(\varepsilon_0 - u_{x_1}(\varepsilon_0) - \Delta_1) > x_{NSm} + \Delta_2; \quad (5)$$

$$u_{x_2}(\varepsilon_0 - u_{x_1}(\varepsilon_0) + \Delta_1) > x_{NSm} - \Delta_2; \quad (6)$$

– бурильная колонна в данной точке не контактирует со стенками ствола скважины при выполнении условий:

$$u_{x_2}(\varepsilon_0 - u_{x_1}(\varepsilon_0) - \Delta_1) < x_{NSm} + \Delta_2; \quad (7)$$

$$u_{x_2}(\varepsilon_0 - u_{x_1}(\varepsilon_0) + \Delta_1) > x_{NSm} - \Delta_2; \quad (8)$$

– бурильная колонна в данной точке контактирует с нижней частью ствола скважины при выполнении условий:

$$u_{x_2}(\varepsilon_0 - u_{x_1}(\varepsilon_0) - \Delta_1) < x_{NSm} + \Delta_2; \quad (9)$$

$$u_{x_2}(\varepsilon_0 - u_{x_1}(\varepsilon_0) + \Delta_1) < x_{NSm} - \Delta_2. \quad (10)$$

Величина ε_0 определяется исходя из уравнения

$$x_{1m} = \varepsilon_0 - u_{x_1}(\varepsilon_0).$$

Следует отметить, что аналогичный расчет (формулы (3) – (10)) следует провести также и для плоскости $x_1\theta x_3$. При этом в уравнениях (3) – (10) необходимо сделать следующие замены: $\Delta_2 \rightarrow \Delta_3$; $\alpha_{12} \rightarrow \alpha_{13}$; $u_{x_2} \rightarrow u_{x_3}$; $x_{NSm} \rightarrow x_{WEm}$.

Таким образом отсутствие контакта бурильной колонны со стенками ствола в некоторой точке будет иметь место при выполнении условий (7), (8) для плоскости $x_1\theta x_2$ и аналогичных условий для плоскости $x_1\theta x_3$.

Следует также отметить, что, анализируя положение условной упругой оси бурильной колонны относительно каждой точки криволинейного участка скважины, можно сделать заключение о ее положении в криволинейном стволе, а также выбрать соответствующую методику расчета напряжений.

1. Рачкевич Р.В. Визначення положення бурильної колони у криволінійному стовбурі свердловини / Р.В. Рачкевич, В.І. Артим, А.А. Козлов // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. – 2007. – №4(25). – С. 88 – 92.
2. Светлицкий В.А. Механика стержней: Учеб. для вузов. В 2-х ч. Ч. 1. Статика: / В.А. Светлицкий. – М.: Высш. шк., 1987. – 320 с.: ил.

УДК 681.324

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АКТИВНЫХ ФОРМ ОБУЧЕНИЯ
НА ПРИМЕРЕ ПРЕПОДАВАНИЯ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ
«ТЕОРИЯ ВЕРОЯТНОСТЕЙ И МАТЕМАТИЧЕСКАЯ СТАТИСТИКА»**

**USING ACTIVE TEACHING APPROACHES FOR TEACHING
THE PROBABILITY THEORY AND MATHEMATICAL STATISTICS**

Савастенко Н.А., Малишевский В.Ф., Пушкарев Н.В.

Savastenko N., Malishevskiy V., Pushkarev N.

Международный государственный экологический университет имени А.Д. Сахарова
Минск, Беларусь

Based on the author's teaching experience at the International Sakharov Environmental University, this paper reports on the implementation of innovative teaching methods by teaching the probability theory and mathematical statistics to second-year undergraduate students. The paper focuses on the skills that can be strengthened by innovating teaching and learning methodology.

Использование инновационных технологий в образовании рассматривается в настоящее время как новая парадигма образования [1; 2]. Одной из целей применения инновационных технологий является создание *продуктивного* мышления. В отличие от *репродуктивного*, продуктивное мышление рассматривается как способ мышления, способный создавать новые продукты деятельности [3].

Принимая такое определение, следует иметь в виду его условность, поскольку любое мышление является по своей сути творческим, продуктивным, в той или иной мере. В процессе целенаправленной обработки информации осуществляется ее анализ, расчленение, выявление связей, закономерностей и т. д. Таким образом, мышление всегда приводит к созданию нового знания, установления новых связей, иными словами, к созданию «нового продукта». Высокая степень новизны продукта и неординарность