УДК 622.243.2

Ю.Т.МОРОЗОВ
профессор кафедры технологии и техники бурения скважин
А.М.МОЧУЛОВСКИЙ
аспирант кафедры технологии и техники бурения скважин

МЕХАНИЗМ ИСКУССТВЕННОГО ИСКРИВЛЕНИЯ СКВАЖИН СКОЛЬЗЯЩИМИ ОТКЛОНИТЕЛЯМИ НЕПРЕРЫВНОГО ДЕЙСТВИЯ

Предложен механизм искусственного искривления скважин отклонителями непрерывного действия, основанный на разрушении стенки скважины в процессе ее бокового фрезерования смещающимся долотом под действием возникающего отклоняющего усилия. Для плавного набора кривизны предлагается регулировать величину отклоняющего усилия, а для достижения максимального угла отклонения – частоту вращения долота.

The mechanism of artificial borehole deviation by sliding whipstocks continuous action, based on destruction of a borehole wall during its lateral milling by displacing bit under action of arising rejecting effort. For a smooth set of deviation it is offered to adjust rejecting effort and for achievement of the maximum angle – to adjust frequency of bit rotation.

Разработка оптимальной технологии направленного бурения скважин остается актуальной проблемой как при разведке месторождений на нефть и газ, так и твердых полезных ископаемых. Для искривления скважин в проектном направлении разработаны отклоняющие системы различных конструкций и наиболее важной задачей оптимизации их применения является исследование механизма искусственного искривления ствола скважины тем или иным отклонителем.

При искусственном искривлении (ИИ) геолого-разведочных скважин в твердых породах применяются отклонители непрерывного действия, в том числе с регулируемым перекосом их отклоняющего узла. При постановке на забой такие отклонители формируют изогнутую компоновку с опорой на три точки и постоянным углом перекоса γ между их коротким L_2 и длинным L_1 плечом.

Геометрия движения такой компоновки в скважине по некоторому радиусу R описывается уравнением

$$R = \frac{L_1 + L_2}{2\sin\gamma}.$$

Однако эти зависимости никак не характеризуют механизм искривления скважины. Из ряда отклонителей наиболее совершенны, на наш взгляд, конструкции, реализующие совместное фрезерование стенки скважины под действием отклоняющего усилия, и асимметричное разрушение забоя при бурении при совпадении процесса по направлению, например, отклонитель бесклиновой скользящий (ОБС) конструкции ВИТР. Механизм разрушения боковой стенки скважины под действием отклоняющего усилия таким отклонителем был схематично описан в работе*. В данной статье излагается более строгое математическое описание процесса искусственного искривления.

* *Морозов Ю.Т.* Расчет отклоняющего усилия при работе бесклиновым снарядом непрерывного действия / Ю.Т.Морозов, М.П.Олексенко, А.М.Тихонов // Изв. вуз. «Геология и разведка». № 2. 1969. С.139-144.

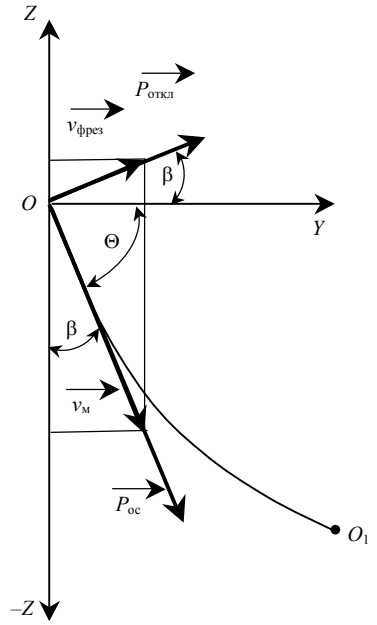


Рис.1. Формалиация процесса искусственного искривления в подвижной системе координат

При использовании отклонителей типа ОБС обеспечивается процесс формирования траектории направленной скважины с заданной кривизной в заданном направлении. Его конструкция позволяет создавать для породоразрушающего инструмента (ПРИ) на забое двунаправленное силовое воздействие на горную породу ($P_{ос}$, $P_{от}$). Одновременно с этим на инструмент действует осевой момент вращения с некоторой частотой (n). Совокупность действия $P_{ос}$ и n приводит к разрушению горной породы под торцом ПРИ с механической скоростью $\bar{v}_м$ в направлении действия $P_{ос}$, а совокупность действия $P_{от}$ и n при перекосе отклоняющего узла приводит к разрушению горной породы в направлении активного (контактирующего со стенкой скважины) сектора долота, что ведет к смещению ПРИ и оси скважины с боковой фрезерной скоростью $\bar{v}_{фрез}$ в заданном направлении. Для иллюстрации указанного механизма и расчетов выбираем систему координат (ZOY), связанную с ПРИ (рис.1).

Известен способ задания траектории кривой, соответствующий данному моменту, выражением

$$K = \frac{\dot{Y}\ddot{Z} - \dot{Z}\ddot{Y}}{\left(\dot{Z}^2 + \dot{Y}^2\right)^{\frac{3}{2}}}. \qquad (1)$$

Очевидно, что

$$\begin{cases} \dot{Z} = v_Z = v_м \cos\Theta; \\ \dot{Y} = v_Y = v_м \sin\Theta, \end{cases} \qquad (2)$$

а также

$$\begin{cases} \ddot{Y} = \dot{v}_{фрез} \cos\beta; \\ \ddot{Z} = \dot{v}_{фрез} \sin\beta, \end{cases} \qquad (3)$$

тогда

$$K = \frac{\dot{v}_{фрез}}{v_м^2}, \qquad (4)$$

где $\dot{v}_{фрез}$ – скорость фрезерования активным сектором боковой поверхности долота стенки скважины, LT^{-2}.

Если представить

$$\dot{v}_{фрез} = K_1 P_{от}, \qquad (5)$$

где K_1 – коэффициент бокового фрезерования, то с учетом бокового смещения центра l долота при ИИ получим

$$K = \frac{K_1 l P_{от}}{l v_м^2} = \frac{K_1 A_б}{l v_м^2}. \qquad (6)$$

Размерности скорости, силы, ускорения и кривизны, входящие в выражение (6), определяются соответственно

$$v_м = LT^{-1};\ \dot{v}_м = LT^{-2};\ k = L^{-1};\ P_{от} = LMT^{-2}.$$

Откуда

$$K_1 = \left(\frac{LMT^{-2}}{LT^{-2}}\right)^{-1} = M^{-1}.$$

Использование экспериментальных значений $v_м$ и $K = \frac{\pi}{180^\circ} i$, полученных при проведении полевых испытаний ОБС-59 и ОБС-76 в породах VI-X категорий по буримости, позволило определить интервал

варьирования ускорения фрезерования $v'_{\text{фрез}}$ (рис.2).

Таким образом, полученная аналитическая зависимость (6) раскрывает физику процесса ИИ и позволяет определять технологические параметры. При этом $v_{\text{м}}$ в выражении (6) имеет вторую степень, поэтому и погрешность, вносимая данным параметром в процесс ИИ, будет в два раза больше погрешностей от других членов. С другой стороны, $v_{\text{м}}$ – параметр, имеющий высокий уровень детерминативности в процессе ИИ, поэтому основной акцент исследований нами сделан на анализе величины работы $A_{\text{б}}$.

Числитель уравнения (6) представляет собственно работу $A_{\text{б}}$ (в джоулях), которую производит активный сектор боковой поверхности долота в процессе ИИ:

$$A_{\text{б}} = K' P_{\text{от}} v_{\text{фр}} n^{-1}, \qquad (7)$$

где K' – коэффициент, зависящий от выбора размерности единиц силы, скорости и частоты вращения ПРИ; $A_{\text{б}} = 60Wn$; $W = 2{,}7 \cdot 10^{-4} P_{\text{от}} v_{\text{фрез}}$, Вт; $A_{\text{б}} = LP_{\text{от}}$, $L = 0{,}0166 v_{\text{фрез}} n^{-1}$, м; L и W – сокращающие постоянные коэффициенты.

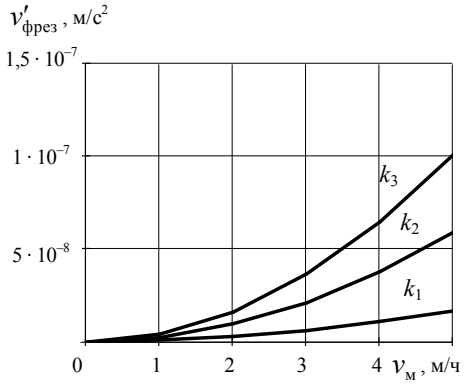


Рис.2. График зависимости $v'_{\text{фрез}} = f(v_{\text{м}})$ при кривизне k = const для вариантов: $k_1 = 8{,}73 \cdot 10^{-3}$ м$^{-1}$; $k_2 = 3{,}05 \cdot 10^{-2}$ м$^{-1}$; $k_3 = 5{,}24 \cdot 10^{-2}$ м$^{-1}$

Если все переменные, входящие в (7), взяты в системе СИ, то $K' = 0{,}01666$.

Значения $A_{\text{б}}$ были определены по экспериментальным данным, полученным в процессе стендовых испытаний двух типов долот: АДН-59 (алмазное долото); 59К-ЦА (двухшарошечное). Их результаты представлены на графиках (рис.3-4).

Таким образом установлено, что с увеличением фиксированной частоты n энергия разрушения горных пород уменьшается (рис.3), а для процессов, в которых

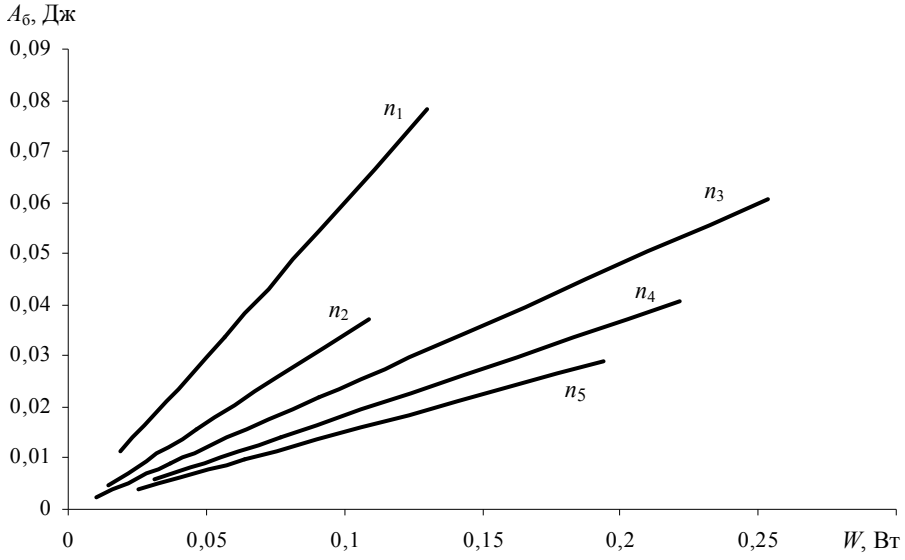


Рис.3. График зависимости $A_{\text{б}} = f(W, n)$ для алмазного долота при $n, v_{\text{фр}}$ = const: $n_1 = 100$ мин$^{-1}$; $n_2 = 175$ мин$^{-1}$; $n_3 = 250$ мин$^{-1}$; $n_4 = 325$ мин$^{-1}$; $n_5 = 400$ мин$^{-1}$

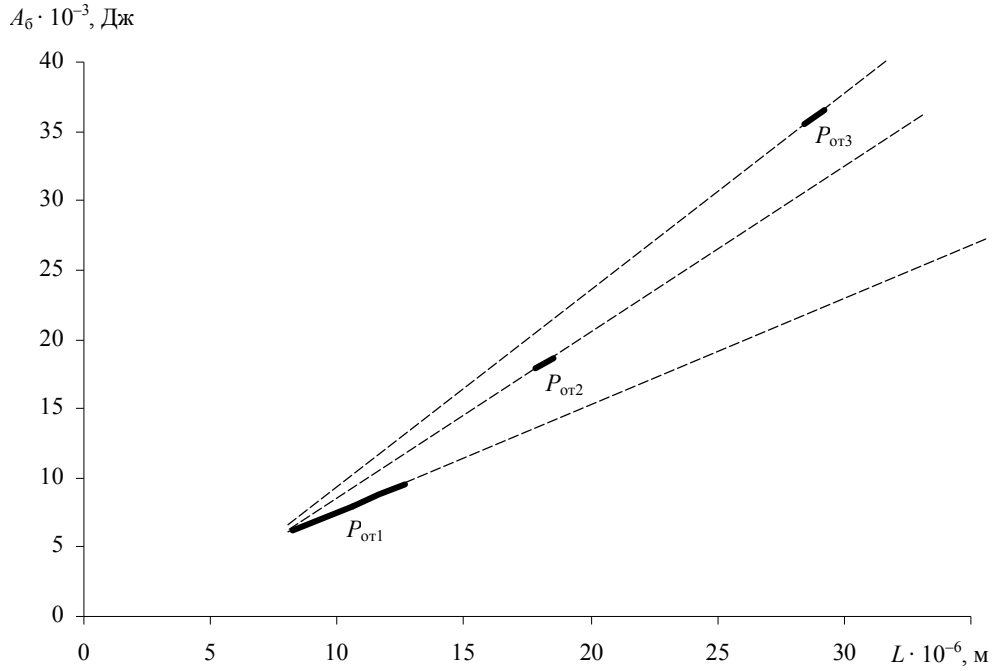


Рис.4. График зависимости $A_б = f(LP_{от})$ для алмазного долота при $P_{от}$, $v_{фр}$ = const: $P_{от1}$ = 750 Н; $P_{от2}$ = 1000 Н; $P_{от3}$ = 1250 Н

$P_{от}$ = const, с увеличением $P_{от}$ энергия разрушения увеличивается (рис.4). С другой стороны, крутизна характеристик $A_б$ при фиксированных значениях n выше, чем при $P_{от}$ = const. Следовательно, при регулировании интенсивности ИИ отклонителем параметр $P_{от}$ предпочтителен для задач плавного набора кривизны, а для получения более высоких значений интенсивностей искривления стволов – рост параметра n как для алмазных, так и для шарошечных долот.

Таким образом, если выражение (6) привести к виду*

$$K_{пр} = P_{от}\left(M_б v_м^2\right)^{-1}, \qquad (8)$$

(здесь $M_б = 1/K_1$ – коэффициент пропорциональности, м), то на его основе в каждом конкретном случае появляется возможность определять оптимальные технологические параметры цикла ИИ ОНД. И если после постановки ОБС было установлено, что $i_{факт}$ расходится с $i_{проект}$, то возможны два вывода: либо не была выдержана проектная $v_м$, либо необходимо заменить долото на долото с большей фрезерующей способностью.

Таковы, на наш взгляд, основные теоретические положения механизма искусственного искривления отклонителями непрерывного действия, применяемых для корректировки траекторий направленных скважин.

* *Мочуловский А.М.* Снижение неопределенности проектирования процесса искусственного искривления скважин отклонителями непрерывного действия // Методика и техника разведки / ВИТР. СПб, 1999. № 9-10 (147-148). С.224-231.