

УДК 622.243:572.002.54

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПРОХОДИМОСТИ СЪЕМНОГО ИНСТРУМЕНТА В ИСКРИВЛЕННОЙ КОЛОННЕ

В.П.ОНИЩИН, И.Н.АНДРИАНОВ

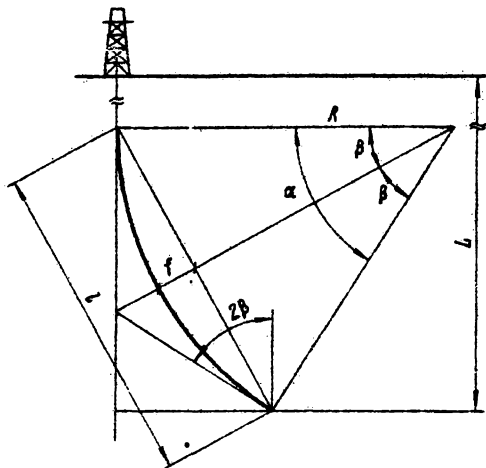


Рис. Схема к расчету проходимости съемного инструмента

Особенностью метода бурения с использованием съемного инструмента является беспрепятственность его движения внутри колонны буровых труб. Помимо гидродинамики на скорость движения съемного инструмента оказывает влияние кривизна скважины, колонны, самого съемного инструмента, а также эксцентричность внутреннего канала буровых труб, вызванная несоосностью резьбовых соединений. Это в ряде случаев приводит к отказам в работе съемного инструмента, связанным с застреванием его при спускоподъемных операциях. Некоторые буровые

бригады применяют специальные «досыльщики», пытаясь протолкнуть застрявший съемный инструмент, нанося по нему удары сверху. Недопустимость подобной операции и тяжелые последствия, которые она может вызвать, требуют детальной проработки вопросов проходимости съемного инструмента в колонне буровых труб.

В искривленной скважине стрелу прогиба трубы можно определить как (рис. I)

$$f = \frac{l}{2} \operatorname{tg} \frac{\alpha}{4}; \quad \beta = \frac{\alpha}{2} = \frac{li}{n} \quad \text{или} \quad f = \frac{l}{2} \operatorname{tg} \frac{li}{2n} \quad (I)$$

где f - высота сегмента (стрела прогиба), м; l - длина хорды, стягивающей дугу сегмента, м; $2\beta = \alpha$ - центральный угол, град.; i - кривизна участка скважины, град.; n - длина участка набора кривизны, м.

Суммарные допустимые отклонения параметров бурильных труб и труб, входящих в состав колонкового набора ССК,

$$\delta_{\Delta} = [2(\Delta t + \Delta_{\text{нс}}) + \Delta d_{\text{б.т}} + \Delta D_{\text{к}}], \quad (2)$$

где $\Delta t = 0,25$ мм - допустимое отклонение толщины стенки бурильной трубы; $\Delta_{\text{нс}} = 0,10$ мм - допустимая несоосность при нарезании резьбы бурильных труб; $\Delta d_{\text{б.т}} = 0,20$ мм - допустимое отклонение внутреннего диаметра бурильных труб; $\Delta D_{\text{к}} = 0,25$ мм - допустимое отклонение наружного диаметра съемного инструмента.

Сам съемный инструмент может состоять из условно-жестких (УЖС) и гибких (ГУ) систем. К УЖС следует, например, отнести устройства для транспортирования съемной коронки и постановки ее в рабочее положение, а к ГУ - съемный керноприемник, способный без ущерба для выполнения своих функций в определенных пределах деформироваться в поперечном сечении, выбирая кривизну, и проходить через искривленную колонну бурильных труб.

Рассмотрим проходимость УЖС на примере устройства для транспортирования съемной коронки. Оно представляет собой набор механизмов, заключенных в цилиндрический корпус определенной длины. Безотказная работа этих механизмов может быть обеспечена, если корпус не будет претерпевать поперечных деформаций, способных вызвать заклинивание и поломку отдельных элементов устройства. Из рис.1 имеем

$$f = 2R \sin^2 \alpha / 4, \quad (3)$$

где R - радиус кривизны скважины.

Выражая f через допуски на изготовление бурильных труб и транспортера, получим

$$f = d_{\text{б.т}} - D_{\text{т}} - \delta_{\Delta} + f_{\text{т.доп}}, \quad (4)$$

где $d_{\text{б.т}}$ - внутренний диаметр бурильных труб; $D_{\text{т}}$ - наружный диаметр транспортера; $f_{\text{т.доп}}$ - допустимая стрела прогиба корпуса транспортера при $\delta = [\delta]$ δ - зазор «колонна - транспортер»; $[\delta]$ - допустимый условный зазор «колонна - транспортер».

В формуле (3), согласно [2], с некоторым приближением

$$\sin \alpha / 4 = l_{\text{т}} R / 4. \quad (5)$$

Подставив полученные по формулам (4) и (5) значения в формулу (3) и решив ее относительно R , найдем

$$R = l_{\text{т}}^2 / [\delta(d_{\text{б.т}} - \delta_{\Delta} - D_{\text{т}} + f_{\text{т.доп}})]. \quad (6)$$

С другой стороны,

$$R = n 180^\circ / \pi i^\circ \quad (7)$$

Приняв правые части формул (6) и (7) и решив выражение относительно $l_T = l_{УЖС}$, условие проходимости УЖС запишем так:

$$l_{УЖС} \leq \sqrt{\frac{8\pi 160^\circ (d_{\delta.T} - \delta_\Delta D_T + f_{T.доп})}{\pi i^\circ}} \quad (8)$$

Максимальная длина утяжелителя (в случае его шарнирного соединения с транспортером) также может быть определена по формуле (8). В этом случае вместо D_T необходимо поставить диаметр утяжелителя D_Y , а вместо $f_{T.доп}$ — допустимый прогиб утяжелителя $f_{Y.доп}$, при котором обеспечивается гарантированный зазор $[\delta]$

Значения l_T и l_Y , рассчитанные для бурильной колонны ССК-59 по формуле (8), при $d_{\delta.T} = 45,4$ мм; $D_T = 42,0$ мм; $D_Y = 36,0$ мм; $\delta_\Delta = 1,15$ мм; $i = 15^\circ$; $n = 10^5$ мм; $f_{T.доп} = 1,25$ мм; $f_{Y.доп} = 5$ мм, соответственно равны 3,27 и 6,30 м. Значения $l_{УЖС}$ для скважин, буримых комплексом ССК-59, уменьшаются с увеличением кривизны участка i :

i , град.	3	6	9	12	15
$l_{УЖС}$, м	7,30	5,17	4,22	3,66	3,27

Условия проходимости съемного керноприемника, относящегося к ГС, будут иными. При определении допустимых длин ГС будем считать, что кривизна скважины заведомо меньше кривизны колонны. Керноприемник, представляющий собой тонкостенную трубу, так же как и бурильные трубы, может иметь отклонение от прямолинейности, зависящее от точности изготовления, условий эксплуатации и других факторов (рис.2). Сужение Δ свободного просвета для прохода керноприемника внутри бурильной колонны (которая может иметь форму синусоиды с длиной волны L_0) равно сумме условного сужения внутреннего проходного диаметра колонны бурильных труб и условного расширения наружного диаметра керноприемника:

$$\Delta = f'_{\delta.T} + f'_K, \quad (9)$$

где $f'_{\delta.T}$, f'_K — прогибы бурильных труб и керноприемника длиной l .

Разность между Δ и фактическим зазором δ между керноприемником и колонной бурильных труб, где $\delta = d_{\delta.T} - D_K$, δ_Δ , есть разность между фактическим внутренним диаметром колонны и наружным диаметром керноприемника с учетом допусков на изготовление труб:

$$\Delta - \delta = f'_{\delta.T} + f'_K - (d_{\delta.T} - D_K - \delta_\Delta). \quad (10)$$

Значения поперечных деформаций искривленных труб можно определить расчленением их на совокупность балок (рис.3). Ввиду малости допустимых стрел прогиба труб на участке контакта l_α , вполне возможно определить поперечные деформации изгиба бурильных труб от контактных сил $P_{\delta.T}$ (см. рис.2) и силы тяжести колонны $G_{\delta.T}$, а также поперечные деформации керноприемника от контактных сил P_K , считая балки прямыми и шарнирно-опертыми. Прогиб такой балки для колонны бурильных труб [1]

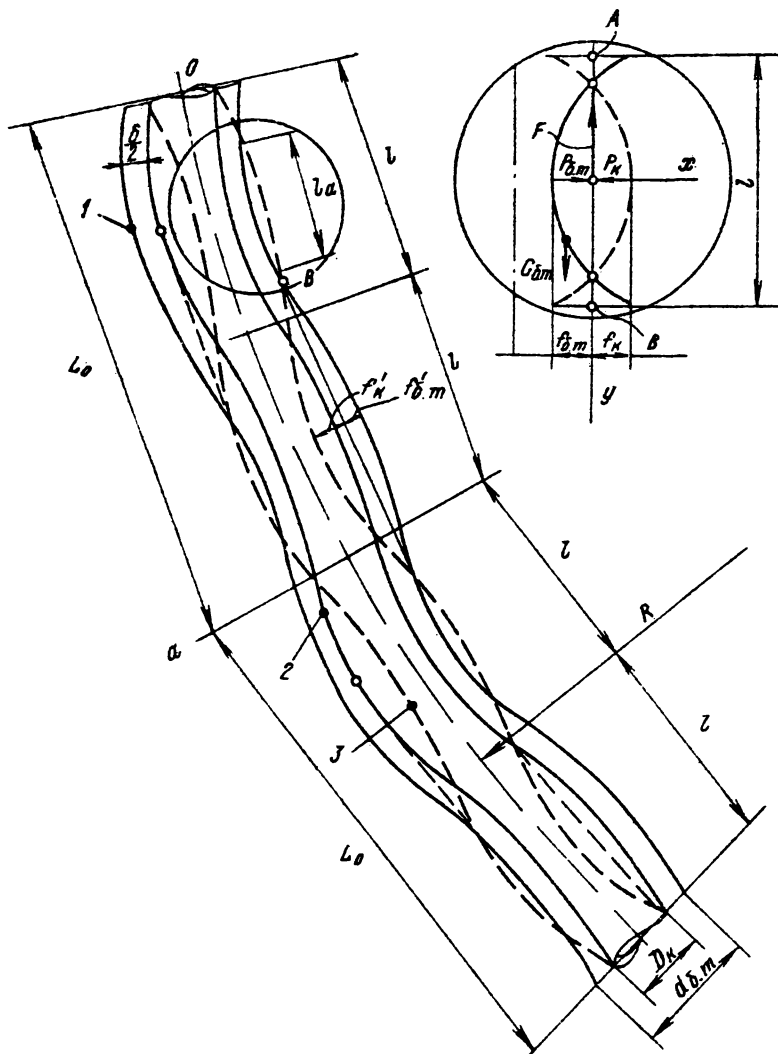


Рис.2. Расположение искривленного керноприемника в искривленной колонне
1 - колонна; 2 - керноприемник; 3 - керноприемник после перемещения на длину

$$f_{\delta.т} = \frac{2D_{\delta.т} l_{\delta.т} \sin \frac{\pi y}{l_{\delta.т}}}{\pi^2 \left(\frac{\pi^2 EI_{\delta.т}}{l_{\delta.т}^2} - G_{\delta.т} \right)} \quad (II)$$

прогиб для керноприемника

$$f_K = \frac{2D_K l_K^3 \sin \frac{\pi y}{l_K}}{\pi^4 EI_K}, \quad (I2)$$

где $l_{б.т.}$ и $l_{к.}$ - длины полуволн буровых труб и керноприемника; y - расстояние точки приложения сил $P_{б.т.}$ и $P_{к.}$ от точки B (см. рис.2); E - модуль упругости материала труб и керноприемника; $J_{б.т.}$ и $J_{к.}$ - осевые моменты инерции сечений труб и керноприемника.

Условие совместности поперечных деформаций рассматриваемой пары при одинаковых участках $A-B$, равных $l_{б.т.} = l_{к.} = l$, запишется следующим образом:

$$\frac{2P_{б.т.} l \sin \frac{\pi y}{l}}{\pi^2 \left(\frac{\pi^2 E J_{б.т.}}{l^2} - G_{б.т.} \right)} + \frac{2P_{к.} l^3 \sin \frac{\pi y}{l}}{\pi^4 E J_{к.}} = f_{б.т.} + f_{к.} = f'_{б.т.} + f'_{к.} - \frac{\delta}{2} \quad (13)$$

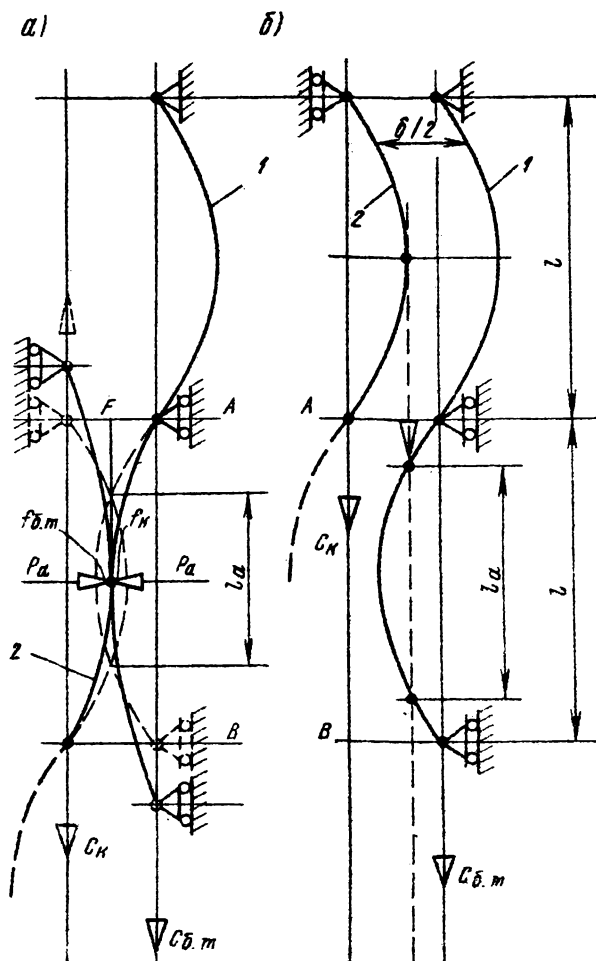


Рис.3. Схема для определения деформаций и контактных сил в системе «колонна - керноприемник»: а - при контакте; б - при отсутствии контакта
1 - колонна; 2 - керноприемник

Пологая $P_{б.т} = P_{\Sigma} = P_{\alpha}$; $y = l/2$, $f_{б.т} = f_{0_{б.т}}(l/l_0)^{1,5}$ [3] и $f_{\Sigma} = f_{0_{\Sigma}}(l/l_0)^{1,5}$ (где $f_{0_{б.т}}$, $f_{0_{\Sigma}}$ - стрелы прогибов бурильных труб и керноприемника на длине 1 м; l_0 - длина 1 м труб) будем иметь

$$P_{\alpha} = \frac{(f_{0_{б.т}} + f_{0_{\Sigma}})(l/l_0)^{1,5} - 0,5\delta}{2l/\pi^2 \left(\frac{\pi^2 EI_{б.т}}{l^2} - G_{б.т} \right) + 2l^3/\pi^4 EI_{\Sigma}} \quad (14)$$

При оборке колонны рекомендуется наиболее искривленные бурильные трубы размещать в верхней части скважины, т.е. уменьшать стрелу прогиба от устья к забой по линейному закону:

$$f_{0_{б.т}} = (f_{0_{б.т \max}} - f_{0_{б.т \min}}) \left(1 - \frac{L}{L_{\max}} \right) + f_{0_{б.т \min}}, \quad (15)$$

где $f_{0_{б.т \max}}$ - максимальное значение стрелы прогиба бурильной трубы на 1 м в верхней части колонны; $f_{0_{б.т \min}}$ - минимальное значение стрелы прогиба трубы на 1 м в нижней части колонны; $L_{\max}$ - максимальная глубина скважины; L - текущая глубина скважины.

Учитывая, что наиболее неблагоприятной зоной проходимости является место сочленения труб, где влияние несоосности резьбового соединения на кривизну будет максимальным, а влияние силы тяжести колонны на стрелу прогиба - минимальным (особенно при небольшой глубине скважин), примем в выражении (14) $G_{б.т} = 0$.

Подставив выражение $f_{0_{б.т}}$ из формулы (15) и выражение $\delta = \delta_{б.т} - D_{\Sigma} - \delta_{\Delta}$ в формулу (14), получим полную расчетную формулу для вычисления контактных сил

$$P_{\alpha} = \frac{\left[(f_{0_{б.т \max}} - f_{0_{б.т \min}}) \left(1 - \frac{L}{L_{\max}} \right) + f_{0_{б.т \min}} + f_{0_{\Sigma}} \right] \left(\frac{l}{l_0} \right)^{1,5} - 0,5(\delta_{б.т} - D_{\Sigma} - \delta_{\Delta})}{\frac{2l}{\pi^4 EI_{б.т}/l^2} + \frac{2l^3}{\pi^4 EI_{\Sigma}}} \quad (16)$$

Сила трения F в паре «бурильная колонна - съемный керноприемник» запишется в виде

$$F = \varphi P_{\alpha}, \quad (17)$$

где φ - коэффициент трения, равный 0,3.

Результаты расчета поперечных контактных усилий P_{α} и силы трения F в зонах кривизны инструмента ССК-59 в зависимости от глубины скважины следующие:

Глубина скважин L , м	100	300	500	800	1200
Контактные поперечные усилия P_{α} , даН	45,8	43,0	37,9	36,5	31,2
Сила трения F , даН	13,7	12,9	11,3	10,9	9,3

Упрощая выражение (16) и решая его относительно $l = l_{Гс}$, получим уравнение вида

$$\alpha(l_0)^{4,5} l^3 - b l^{1,5} + c(l_0)^{1,5} = 0. \quad (18)$$

Принимая $\alpha(l_0)^{4,5} = A$; $b = B$; $c(l_0)^{1,5} = C$ $l^{1,5} = t$, перепишем формулу (18) в виде

$$A t^2 - B t + C = 0. \quad (19)$$

Решая выражение (19), имеем

$$t = l^{1,5} = \frac{B + \sqrt{B^2 - 4AC}}{2A},$$

следовательно,

$$l_{Гс} \geq \left[\frac{B + \sqrt{B^2 - 4AC}}{2A} \right]^{0,67} \quad (20)$$

Таким образом, условием проходимости гибких систем в искривленной буровой колонне является необходимость обеспечения длины съёмного инструмента, не меньшей значения, найденного из выражения (20).

В уравнении (18)

$$\alpha = \frac{2 D_a}{\pi^4 E} \left(\frac{1}{I_{б.т}} + \frac{1}{I_k} \right) = \frac{2F}{\varphi \pi^4 E} \left(\frac{1}{I_{б.т}} + \frac{1}{I_k} \right). \quad (21)$$

При движении съёмного инструмента под действием силы тяжести необходимо, чтобы соблюдалось условие

$$F \leq G_k, \quad (22)$$

где G_k - сила тяжести керноприемника в промывочной жидкости.

Подставляя выражение (22) в формулу (21), имеем

$$\alpha = \frac{2 G_k}{\varphi \pi^4 E} \left(\frac{1}{I_{б.т}} + \frac{1}{I_k} \right) \quad (23)$$

В соответствии с формулой (24)

$$b = (l_{б.т \max} - l_{б.т \min}) \left(1 - \frac{L}{L_{\max}} \right) + l_{б.т \min} + l_{б.к}; \quad (24)$$

$$c = 0,5(d_{б.т} - D_k - \delta_a). \quad (25)$$

Минимально возможные длины съёмного инструмента гибких систем, рассчитанные по формуле (20), ориентировочно будут равны для ССК-59 и ССК-76 соответственно 2,2 и 3,4 м.

Выводы

1. Получены математические выражения для определения критических длин съемного инструмента по проходимости, а также усилий в зоне контакта его с колонной буровых труб на искривленных участках.

2. Проходимость съемного инструмента, относящегося к условно-жестким системам, определяется его максимальной длиной и зависит от геометрических размеров поперечного сечения труб, инструмента и кривизны колонны.

3. Проходимость съемного инструмента гибких систем определяется его минимальной длиной и зависит не только от размеров поперечного сечения и кривизны труб и инструмента, но и от силы тяжести последнего.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Беляев Н.М. Сопротивление материалов. М. Гостехтеоретиздат, 1956. 856 с.
2. Колесников А.Е., Мелентьев Н.Я. Искривление скважин. М. Недра, 1979. 176 с.
3. Справочное руководство мастера геолого-разведочного бурения / Г.А.Блинов, В.И.Ванильев, Ю.В.Бакланов и др. Л. : Недра, 1983. 400 с.