



УДК 539.3

НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ БУРИЛЬНОЙ КОЛОННЫ В НЕРАСЧЕТНОМ РЕЖИМЕ

А. Г. Хакимов, З. З. Шарафутдинов***

* Институт механики УНЦ РАН, Уфа

** ОАО «Гипротрубопровод», Москва

Аннотация. Приводится методика расчета бурильной колонны в нерасчетном режиме, к которому относятся: прохождение границы раздела пород с сильно различающимися физико-механическими характеристиками, бурение валунодержущих пород, динамические режимы работы. Установлен один из механизмов разрушения бурильной трубы и шарошки.

Ключевые слова: напряженно-деформированное состояние, бурильная колонна, нерасчетный режим

1 Введение

Рассматриваются нерасчетные режимы работы бурильной колонны при разработке скважины под дном реки. Проблема повышения надежности и безопасности бурильных работ является одной из наиболее актуальных в нефтяной и газовой промышленности. Особую трудность создает обеспечение прочности бурильной колонны при расширении скважины под дном реки в нерасчетном режиме [1].

К нерасчетным режимам работы бурильной колонны относятся: прохождение границы раздела пород с сильно различающимися физико-механическими характеристиками, бурение валунодержущих пород, динамические режимы работы бурильной колонны.

2 Прохождение границы раздела пород с сильно различающимися физико-механическими характеристиками

Особый интерес представляют нерасчетные режимы работы бурильной колонны, зависящие от горно-геологических условий. Горно-геологические условия влияют на напряжённо-деформированное состояние бурильной колонны. Данное влияние обусловлено различными коэффициентами трения скольжения трубы о породу для различных пород и изменением главного вектора и главного момента реакции пород на инструмент при бурении или расширении скважины. Влияние этого фактора является значительным при расширении предварительно пробуренной «пилотной» скважины. Анализ причин разрушения забойного инструмента и слома бурильной трубы при строительстве подводных переходов через различные реки показал, что необходимо моделирование расширения скважины на границе перехода мягких пород в твердые. Поэтому рассмотрим равновесие расширителя при прохождении границы раздела мягких и твердых пород. Расчетная схема расширителя, взаимодействующего с породой, приводится на рис. 1

К расширителю приложены следующие силы: вес расширителя P ; усилия растяжения с пробуренной стороны T_1 , с противоположной стороны T_2 ; изгибающий момент с пробуренной стороны $M_{1,1}^b$ и с противоположной стороны $M_{1,2}^b$; крутящий момент с пробуренной стороны $M_{2,1}$ и с противоположной стороны $M_{2,2}$. В кольцевом секторе с центральным углом 2α на расширитель действуют нормальные и касательные напряжения σ_{b1} , τ_{b1} и нормальные и касательные напряжения σ_{b2} , τ_{b2} в кольцевом секторе с центральным углом $2(\pi - \alpha)$. Причем $\sigma_{b1} > \sigma_{b2}$, $\tau_{b1} > \tau_{b2}$. Приведение этих сил к центру дает главный вектор $R = \{R_x, R_y, R_z\}$ и главный момент $M_0 = \{M_{0x}, M_{0y}, M_{0z}\} = \{M_x, M_y, M_z\}$. Реакции стенки пробуренной скважины складываются из нормальных реакций N_1 и N_2 и сил трения скольжения $F_{тр1}$ и $F_{тр2}$. По наружному диаметру $D_2 = 2 \cdot R_2$ расширителя действуют пластовое давление $P_{пл}$ на ширине b по всему диаметру и силы трения, вызванные пластовым давлением, которые определяются по формуле

$$F_{тр3} = 2\pi f P_{пл} R_2 b,$$

где f — коэффициент трения скольжения расширителя о стенки скважины.

Предполагается, что пластовое давление по периметру постоянное. Тогда уравнения равновесия расширителя в проекциях на оси координат имеют вид

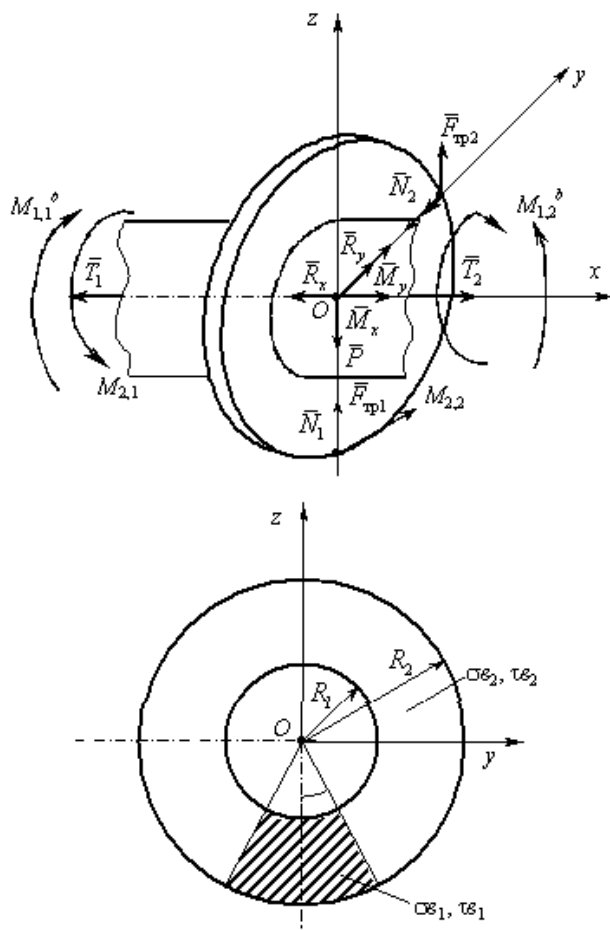


Рис. 1. Расчетная схема расширителя на границе перехода мягких пород в твердые

$$\begin{aligned}
T_2 - T_1 - R_x = 0, \quad R_y - N_2 + F_{\text{тр}1} = 0, \quad P + N_1 + F_{\text{тр}2} = 0, \\
-M_{2,2} + M_{2,1} + M_x + (F_{\text{тр}1} + F_{\text{тр}2} + F_{\text{тр}3})R_2 = 0, \\
M_{1,1}^b + M_{1,2}^b - M_y = 0,
\end{aligned} \tag{1}$$

где

$$\begin{aligned}
F_{\text{тр}1} &= fN_1, \quad F_{\text{тр}2} = fN_2, \quad F_{\text{тр}3} = 2\pi f \cdot P_{\text{пл}}R_2b, \\
R_x &= [\sigma_{b1}\alpha + \sigma_{b2}(\pi - \alpha)](R_2^2 - R_1^2), \\
R_y &= f(\sigma_{b1} - \sigma_{b2})(R_2^2 - R_1^2) \sin \alpha, \\
R_z &= 0, \\
M_x &= \frac{2}{3}f[\sigma_{b1}\alpha + \sigma_{b2}(\pi - \alpha)](R_2^3 - R_1^3), \\
M_y &= \frac{2}{3}(\sigma_{b1} - \sigma_{b2})(R_2^3 - R_1^3) \sin \alpha, \\
M_z &= 0.
\end{aligned}$$

Здесь R_1 — радиус предварительно пробуренной скважины.

При $\alpha = \pi/2$

$$\begin{aligned}
R_x &= \frac{\pi}{2}(\sigma_{b1} + \sigma_{b2})(R_2^2 - R_1^2), \quad R_y = f(\sigma_{b1} - \sigma_{b2})(R_2^2 - R_1^2), \\
M_x &= \frac{\pi}{3}f(\sigma_{b1} + \sigma_{b2})(R_2^3 - R_1^3), \quad M_y = \frac{2}{3}(\sigma_{b1} - \sigma_{b2})(R_2^3 - R_1^3).
\end{aligned}$$

Неизвестные T_2 , N_1 , N_2 , $M_{2,2}$, $M_{1,2}^b$ определяются из системы уравнений (1):

$$\begin{aligned}
T_2 = T_1 + R_x, \quad N_1 = \frac{P}{1 + f^2}, \quad N_2 = R_y + \frac{fP}{1 + f^2} = 0, \\
M_{2,2} = M_{2,1} + M_x + (F_{\text{тр}1} + F_{\text{тр}2} + F_{\text{тр}3})R_2, \\
M_{1,2}^b = M_{1,1}^b - M_y.
\end{aligned}$$

Момент необходимый для вращения расширителя определяется при $M_x = R_y = 0$

$$M_{2,2} = \frac{f(1 + f)P}{1 + f^2}R_2 + F_{\text{тр}3}R_2.$$

Случай сосредоточенной силы: $\alpha \rightarrow 0$, $R_1 \rightarrow R_2$, $\sigma_{b2} \rightarrow 0$; тогда при $T_1 = M_{2,1} = M_{1,1}^b = 0$:

$$R_x = T_2, \quad R_y = fT_2, \quad M_x = f \cdot T_2 \cdot R_2, \quad M_y = T_2 \cdot R_2.$$

Качественный анализ данной расчетной схемы показывает, что момент M_x зависит от T_2 . При $\alpha \rightarrow 0$ силы давления породы на инструмент имеют сосредоточенный характер, поэтому можно приближенно принять, что вся

сила T_2 приложена к одной шарошке. Отсюда следует вывод: большая сила T_2 приводит к разрушению подшипников шарошек, их заклиниванию, дальнейшему стачиванию зубьев и выходу из строя забойного инструмента. Одновременно, сила T_2 вызывает появление дополнительного изгибающего момента, который вместе с остальными силовыми факторами приводит к нагружению бурильной трубы в близких к расширителю сечениях до напряжений, соответствующих запасу статической прочности $n_\sigma \simeq 1$, запасу многоциклового усталостной прочности $n_{\sigma-1} \simeq 1$. Расчет по малоциклового усталостной прочности приводит к числу циклов нагружения, соответствующих 1–5 минутам работы бурильной трубы в этих условиях до разрушения.

Таким образом, установлен один из механизмов разрушения бурильной трубы и шарошки.

Проведем расчеты по определению крутящего момента холостого хода $M_{2\text{хол.ход}}$ и крутящего момента при расширении скважины $M_{2\text{раб}}$. Пусть $T_2 = 370$ кН, $P_{\text{пл}} = 0.3$ МПа, $b = 0.02$ м, $N_1 = 10$ кН, $R_2 = 0.686$ м, $f_1 = 0.05$, $f_2 = 0.8$, тогда

$$\begin{aligned} M_x &= f_1 T_2 R_2 = 0.05 \cdot 370 \cdot 10^3 \cdot 0.686 = 12.7 \text{ кНм}, \\ M_{2\text{хол.ход}} &= f_2 \cdot (N_1 + 2\pi P_{\text{пл}} b) R_2 = \\ &= 0.8 \cdot (10 \cdot 10^3 + 2 \cdot 3.14 \cdot 0.3 \cdot 10^6 \cdot 0.02) \cdot 0.686 = 26.4 \text{ кНм}, \\ M_{2\text{раб}} &= M_{2\text{хол.ход}} + M_x + f_2 N_2 R_2 = \\ &= 26.4 + 12.7 + 0.8 \cdot 20 \cdot 0.686 = 51.1 \text{ кНм}. \end{aligned}$$

Полученные результаты удовлетворительно согласуются с данными измерений на буровой установке.

3 Бурение валуносодержащих пород

При бурении валуносодержащих пород реакция валуна на расширитель также имеет сосредоточенный характер. Расчеты усилий можно проводить с помощью методики, приведенной в предыдущем пункте.

4 Выводы

Полученная методика позволяет определять усилия в сечениях бурильной колонны при нерасчетном режиме расширения скважины под дном реки.

Список литературы

- [1] Калинин А. Г., Никитин Б. А., Солодкий К. М., Султанов Б. З. Бурение наклонных и горизонтальных скважин. Справочник. Под ред. А. Г. Калинина. М.: Недра, 1997. 648 с.