

АНАЛИЗ НАГРУЗОК ДЕЙСТВУЮЩИХ НА БУРИЛЬНУЮ КОЛОННУ В НАПРАВЛЕННОМ СТОЛЕ СКВАЖИНЫ

А. С. Тихонов

Научный руководитель, старший преподаватель А. В. Епихин

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

Множество аварий в бурении скважин связаны с разрушением колонны бурильных труб, на которую действует большой спектр нагрузок. В связи с этим, проблема исследования и контроля нагрузок, действующих на колонну бурильных труб в процессе бурения, является актуальной. На первом этапе исследования стоит задача анализа нагрузок, действующих на типовую колонну бурильных труб, и выбор наиболее опасных из них.

В целом нагрузки, действующие на колонну бурильных труб при турбинном бурении, можно разделить на осевые (статические и динамические) и изгибающие. При роторном способе бурения добавляются еще нагрузки на скручивание колонны.

Статические осевые нагрузки являются наибольшими и создаются собственным весом бурильной колонны. К числу других нагрузок, приводящих к растягивающим напряжениям, относятся силы трения труб о породу при подъеме колонны, перепад давления в турбобуре и долоте, усилие, обусловленное прихватом и затяжкой колонны. В отличие от вертикальной скважины на наклонных участках бурильные трубы своим весом давят на стенки скважины, что приводит к возникновению сил трения. Поэтому для наклонной скважины наибольшие напряжения возникают при подъеме колонны [1].

На бурильную колонну в процессе спускоподъемных операций передаются динамические нагрузки, связанные с изменением скорости движения. Если скорость движения равномерная, то инерционные силы возникают в момент резкого торможения. Если движение ускоренное или замедленное, то инерционные силы возникают в процессе самого движения [1].

Изгибающие нагрузки возникают при турбинном бурении на изогнутых участках колонны и носят статический характер. Вращение колонны на изогнутых участках приводит к переменным нагрузкам. На вертикальных участках в процессе вращения появляются переменные нагрузки вследствие искривления колонны в результате потери устойчивости [1].

В таблице 1 приведена методика расчета всех типов рассматриваемых нагрузок. Для оценки величины напряжений, действующих на типовую бурильную колонну, производится расчёт для водозаборной скважины Казанского месторождения. Исходные данные для расчета приводятся в таблице 2, а результаты расчета по типам нагрузок представлены в виде гистограммы на рис. 1.

Таблица 1

Методика расчета нагрузок действующих на бурильную колонну в наклонном стволе скважины

Тип нагрузки	Методика
Осевые нагрузки	
Статические нагрузки	$\sigma^P = \frac{K \cdot \left(\frac{P_B}{l_i} + P_H + P_{II} + P_T \right) \cdot \left(1 - \frac{\gamma_{ж}}{\gamma} \right) + F_n \cdot (p_n + p_0)}{10^6 \cdot F}$ где $K=1,1$ – коэффициент учитывающий влияние трения, сил инерции, сил сопротивления движению раствора; γ и $\gamma_{ж}$ – удельные веса материала трубы и жидкости Н/м³; F_{II} – площадь проходного канала трубы; p_n и p_0 – перепад давления в турбобуре и в долоте. l_i – число секций на вертикальном участке; m_i – масса секции. Q_i – масса i-го участка колонны; μ – коэффициент трения труб на i-м участке; α – угол наклона i-го участка; n – число наклонных участков. μ_n – коэффициент трения на участке на котором расположены утяжеленные трубы и забойный двигатель; α_n – угол наклона на участке на котором расположены утяжеленные трубы и забойный двигатель. $F_{тр}$ – сила трения на участке искривления; Q_0 – собственный вес колонны на участке искривления; R_i – радиус искривления участка; $\alpha_{ик}$, $\alpha_{ин}$ – зенитные углы в конце и начале участка; P_i – натяжение колонны в конце рассматриваемого участка; $\Delta \alpha_i = \alpha_{ик} - \alpha_{ин}$. Знак минус относится к участку набора угла, плюс – к участку спада.
P_B – вес колонны на вертикальном участке, Н;	$P_B = g \cdot \sum_{i=1}^n m_i \cdot l_i$
P_H – усилие, действующее на прямолинейных участках, Н	$P_H = g \cdot \sum_{i=1}^n Q_i \cdot (\mu_i \sin \alpha_i + \cos \alpha_i)$

Р _И – усилие, действующее на участках набора и спада угла наклона скважины, Н;	$P_H = \sum_1^k \mu \left \pm 2 \cdot g \cdot m_i \cdot R_i \cdot (\cos \alpha_{ik} - \cos \alpha_{iH}) - \right. \\ \left. + \sum_1^k \left g \cdot m_i \cdot R_i \cdot \Delta \alpha_i \cdot \sin \alpha_{ik} \pm P_i \cdot \Delta \alpha_i \right \right $
Р _Т – вес утяжеляемых труб, забойного двигателя и долота, Н;	$P_T = g \cdot (Q_T + G) \cdot (\mu_n \sin \alpha_n - \cos \alpha_n)$
Динамические нагрузки	$\sigma_d = \frac{E \cdot w \cdot l_1}{a^2} \left(1 + \frac{Q_T}{Q_B} \right) + \frac{v \cdot E}{a} \sqrt{\frac{Q_B + Q_T}{Q_B + Q_T} \left(\frac{F_1}{F_2} \right)^2},$ где а – скорость звука в металле; w – ускорение колонны; v – скорость колонны; l₁ и l₂ – длины буровых труб и УБТ соответственно; F₁ и F₂ – площади поперечных сечений труб и УБТ; Q_Б, Q_Т – массы буровых труб и УБТ соответственно; E – модуль упругости материала трубы.
Напряжения в изогнутом стволе при вращении колонны	$\sigma_{Двр} = \frac{E \cdot \rho}{R},$ где α – угол поворота; ρ – расстояние от центра (0 ≤ ρ ≤ r); R – средний радиус искривления.
Изгибающие нагрузки	
Изогнутый участок колонны	$\sigma_{Ииз} = \frac{E \cdot I}{R \cdot W},$ где W – осевой момент сопротивления высаженного конца в основной плоскости резьбы или сечения трубы по стабилизирующему пояску либо по сварному шву.
Вертикальный участок колонны	$\sigma_{Виз} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I \cdot f}{L^2 \cdot W},$ где I – экваториальный момент инерции трубы; f – стрела прогиба; L – длина полулонны; W – осевой момент сопротивления трубы.

Таблица 2

Параметры исходной скважины

Глубина по вертикали, м	Глубина по стволу, м	Зенитный угол, град	Вес колонны, т
1450	1484	13,4	55,85

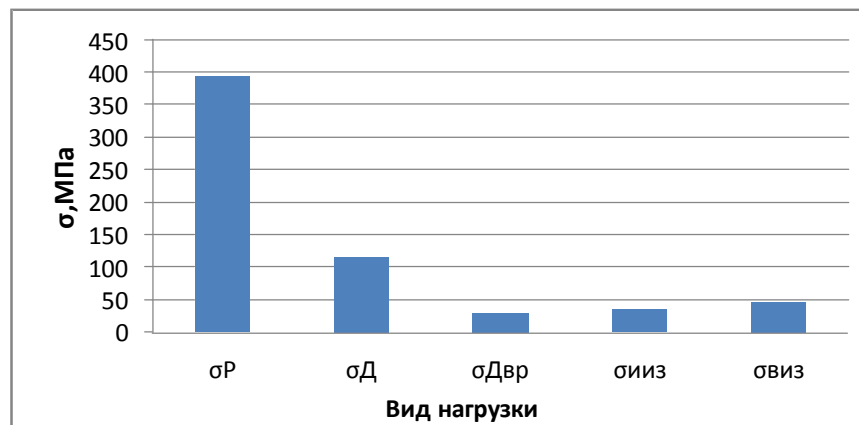


Рисунок 1 – Гистограмма нагрузок действующих на буровую колонну в наклонно-направленном стволе скважины.

Результаты расчета, представленные на рис. 1 показывают, что наибольших значений достигают осевые статические нагрузки, которые по статистике являются основной причиной обрыва буровых труб по телу и по резьбовому соединению. Их величина обусловлена тем, что они сочетают в себе совокупный вес колонны на всех интервалах бурения. Полученные данные позволили выделить направление для дальнейших исследований: оценка прироста нагрузок на буровую колонну при увеличении глубины скважины с учетом изменения параметров кривизны.

Литература

1. Сароян А.Е., Теория и практика работы бурильной колонны. – М.: Недра, 1990.-263с.: ил.
2. Борисов К.И.; Методические основы расчета колонны бурильных труб: учебное пособие / К.И. Борисов, В.И. Рязанов; Томский политехнический университет. – 3-е изд. – Томск: Изд-ва Томского политехнического университета, 2013 – 76 с.

РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ ЗАДЕРЖИВАЮЩЕГО УСТРОЙСТВА ДЛЯ ШАРОСТРУЙНОГО БУРЕНИЯ СКВАЖИН С ПРИМЕНЕНИЕМ УЛАВЛИВАЮЩЕ-ПОДПИТЫВАЮЩЕГО УСТРОЙСТВА

В. В. Урниш, А. В. Ковалев, М. В. Горбенко, Л. А. Саруев

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

На кафедре бурения скважин Томского политехнического университета активно ведется поиск способов повышения эффективности процесса шароструйного бурения, основанного на использовании энергии высокоскоростных шаров, непрерывно циркулирующих в призабойной зоне. Шары приводятся в действие специальным жидкостным инжекторным аппаратом [1]. Шароструйно-эжекторный буровой снаряд является ключевым звеном в технологической схеме шароструйного бурения [2].

На данный момент исследованы основные технологические и технические параметры и зависимости, а также разработана оптимальная конструкция шароструйно-эжекторного бурового снаряда с коническим задерживающим устройством, которое позволяет снять ограничения на расход промывочной жидкости, и направляет шары в камеру всасывания [3–5].

Эффективность использования конического задерживающего устройства (ЗУ) доказана экспериментально [6]. Так, например, было проведено бурение керамической плитки струйным аппаратом без ЗУ, с ЗУ цилиндрической и с ЗУ конусной формы. Анализ результатов показал, что наибольшая эффективность разрушения наблюдается при использовании задерживающего устройства конусной формы (в частности, прирост объема скважины по сравнению с компоновкой бурового снаряда без ЗУ составляет 16,4 %).

Одним из достоинств шароструйного бурения является высокая проходка на долото в виду отсутствия его непосредственного механического контакта с забоем скважины. Однако износ шаров неизбежен. А так как они являются породоразрушающими элементами, это будет отражаться на эффективности процесса бурения.

В связи с проблемой износа шаров, выявленной в ходе исследований американских и казахских ученых [2,7], и вытекающей отсюда необходимостью замены изношенных шаров новыми, в работе [8] впервые была рассмотрена концепция улавливающего-подпитывающего устройства (УПУ) (рисунок 1), которое включает в себя забойный шаропитатель (ШП) [9] и шароуловитель (ШУ).

Технологический процесс подпитки включает следующие операции. На забой засыпается первая партия шаров, спускается буровой снаряд 1, включается промывка и начинается процесс бурения. В это время вторая партия шаров находится в специальном отсеке шаропитателя 3. В процессе бурения производится непрерывное наблюдение за основными технологическими параметрами (механическая скорость и т.д.). Значительное падение скорости проходки (при бурении в одних и тех же породах) означает, что шары на забое износились до критической степени, при которой их необходимо заменить новыми. В связи с этим изношенные шары поднимаются с забоя в ШУ 4, где остаются до конца рейса. А из ШП осуществляется подача новой партии шаров на забой. После чего бурение возобновляется. По истечении рабочего цикла второй партии шаров, они также направляются в ШУ. Далее поднимают колонну бурильных труб, извлекаются шары из ШУ, ШП заполняется новыми, при необходимости обновляется диффузор.

Из схемы и описания цикла работы ША видно, что ЗУ 2 во время процесса улавливания и подпитки шаров будет препятствовать перемещению последних по затрубному пространству. Поэтому разработка устройства и способа приведения ЗУ в рабочее и транспортное положение является важным аспектом в вопросе обеспечения работоспособности УПУ. Причем «рабочим» в данном случае считается положение, в котором устройство будет выполнять свою функцию по направлению шаров в камеру смешения, а «транспортным» – при котором возможно свободное перемещение шаров из ШП на забой скважины и их подъем до ШУ.

В ходе анализа ряда конструкций было установлено, что этого можно добиться несколькими способами, применением:

- ЗУ со складывающимися лепестками;
- ЗУ с отверстиями переменного проходного сечения;
- ЗУ с поворачивающимися лепестками;
- регулированием проходного сечения ЗУ за счёт вращения

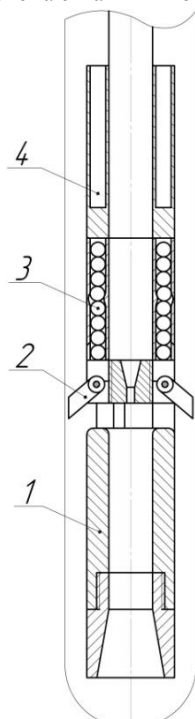


Рисунок 1. Схема компоновки низа бурильной колонны с УПУ:

- 1 – буровой снаряд;
- 2 – задерживающее устройство;
- 3 – забойный шаропитатель;
- 4 – забойный шароуловитель

перекрывающего устройства (ПУ).