



Otabek ESHMURODOV,

Toshkent davlat texnika universiteti tayanch doktoranti

Komilxuja RAXIMOV,

Surxan gaz kemikal (Surhan Gas Chemical) Skvajinalarni burg'ilash bo'limi boshlig'i

Ilxom BEGIJONOV,

Toshkent davlat texnika universiteti assistenti

Tolib KOMILOV,

Toshkent davlat texnika universiteti dotsenti, PhD

Saparbek YERMENEV,

M. Auezov nomidagi Janubiy Qozog'iston universiteti doktoranti

PhD B.Ashurov taqrizi asosida

TO'LQIN DINAMIKASI USULI BILAN BURG'ILASH QUVURLARINI SIQILIB QOLISHINI OLDINI OLİSH NAZARIYASINI ASOSLASH

Annotatsiya

Maqolada burg'ilashda yuzaga keladigan eng qiyin va keng tarqalgan texnik masalalardan biri bo'lgan burg'ilash quvurlarining siqilib qolish muammosi ko'rib chiqilgan. Ushbu jarayonning asosiy sabablari va mexanizmini o'rganish jarayonida, burg'ilash kolonnasining ishqalanish kuchlari va atrof-muhit bilan o'zarlo ta'sirilari tahlil qilingan. Asosiy e'tibor burg'ilashda burg'ilash quvuri orqali skvajinada sodir bo'ladigan kuchli to'lqinlanish jarayonlaridagi kuchlarni burg'ilash quvurini o'q sifatida qabul qilgan holda undagi dinamik kuchni pastga yo'naltirish va ularni bartaraf etishning yangi mexanik usulini ishlab chiqishga qaratilgan. **Kalit so'zlar:** burg'ilash quvurini siqilib qolishi, ishqalanish kuchlari, to'lqin jarayonlari, chekllovchi tushirish to'lqini, mexanik usul, raqamli modellashtirish, dinamik yuk, elastik novda, chekli element diskretizatsiyasi, bo'ylama to'lqinlar.

THEORETICAL JUSTIFICATION OF THE ELIMINATION OF THE SEIZURE OF DRILL STRINGS BY WAVE DYNAMICS METHODS

Annotation

In this paper, the problem of gripping drill strings is considered to be one of the most complex and common technical issues that arise during the drilling process. The analysis of the causes and mechanism of this phenomenon is carried out, including the interaction of the drill string with the environment and the influence of local zones with increased friction forces. The main attention is paid to the development of a new mechanical method for removing entanglement based on the use of wave processes, and the dynamics of a long elastic rod representing a drill string is considered, with an emphasis on the transmission of dynamic load through the inner core.

Keywords: grip of the drill string, friction forces, wave processes, limiting discharge wave, mechanical method, numerical modeling, dynamic load, elastic rod, finite element discretization, longitudinal waves.

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ЛИКВИДАЦИИ ПРИХВАТА БУРИЛЬНЫХ КОЛОНН МЕТОДАМИ ВОЛНОВОЙ ДИНАМИКИ

Аннотация

В данной работе рассматривается проблема прихвата бурильных колонн одного из наиболее сложных и распространённых технических вопросов, возникающих в процессе бурения скважин. Проведён анализ причин и механизма этого явления, включающий взаимодействие бурильной колонны с окружающей средой и влияние локальных зон с повышенными силами трения. Основное внимание уделено разработке нового механического метода устранения прихвата, основанного на использовании волновых процессов, а также рассмотрена динамика длинного упругого стержня, представляющего бурильную колонну, с акцентом на передачу динамической нагрузки через внутренний сердечник.

Ключевые слова: прихват бурильной колонны, силы трения, волновые процессы, предельная волна разряжения, механический метод, численное моделирование, динамическая нагрузка, упругий стержень, конечно-элементная дискретизация, продольные волны.

Прихват бурильных колонн является одной из наиболее распространённых и сложных технических проблем, возникающих в процессе бурения скважин. Анализ причин и механизма возникновения этого явления показывает, что бурильная колонна, рассматриваемая в масштабе скважины, представляет собой деформируемый полый стержень, активно взаимодействующий с окружающей средой. Локальные зоны с повышенными силами трения, возникающие вокруг колонны вследствие различных факторов, создают препятствия для её свободного осевого перемещения, что приводит к явлению прихвата.

При проведении мероприятий по ликвидации прихвата основным ограничивающим фактором становится механическая прочность бурильной колонны. Приложение избыточных усилий, превышающих предел прочности колонны, может привести к её разрушению (обрыву), при этом требуемое усилие для высвобождения колонны остаётся

недостижимым. Именно это обстоятельство является ключевой причиной значительных трудностей, связанных с устранением прихвата.

На сегодняшний день отсутствуют универсальные и высокоэффективные методы ликвидации всех типов прихвата. Существующие подходы преимущественно базируются на уменьшении сил трения между колонной и стенками скважины путём применения внешних воздействий. В большинстве случаев используются методы, основанные на гидравлических и гидродинамических процессах, реализуемых в условиях скважины [1,2,3].

Целью настоящего исследования является теоретическое обоснование, численное моделирование и разработка механического метода, обеспечивающего существенное перемещение бурильной колонны без её разрушения. Для достижения данной цели предполагается создание условий, при которых перераспределение внешней силы, приводящей колонну в движение, осуществляется от её торца по всей длине. Основой предлагаемого метода является формирование предельной волны разряжения, которая обеспечивает преодоление локальных участков с высоким трением и вы свобождение колонны из прихвата.

Предлагаемый метод базируется на использовании волновых процессов, развивающихся в колонне труб, которые находятся во взаимодействии с горными породами. Применение волнового подхода обеспечивает эффективное снижение влияния локальных сил трения, возникающих в условиях значительных механических и геологических нагрузок.

В данной исследование приведено уравнение движения отдельно для каждой составляющей стержня, применив конечно-элементной дискретизации к вариационному уравнению, матричная система дифференциальных уравнений. Учитывая «медленный» и «быстрый» вектор силы «медленного» движения колонны с сердечником в матричном виде, представлено уравнение, где показано, что действие вибрации на нелинейные диссипативные системы, в последнем возникает так называемое вибрационное перемещение, под которым понимается возникновение «направленного в среднем» движение за счет «ненаправленных в среднем» воздействий.

Бурильная колонна рассматривается как длинный упругий стержень (длиной L) с двумя свободными концами (рис. 1). Произвольная часть стержня l_{Π} (участок 3 на рис. 1) подвержена действию сил, приложенных к внешней поверхности стержня и являющихся, по природе силами трения. Они, по существу, и вызывают явление прихвата. Наилучшим местом приложения динамической силы является нижняя часть бурильной колонны, а именно ее внутренняя поверхность. Главным преимуществом нижнего участка колонны как места приложения нагрузки является возможность использования волны разряжения, возникающей в колонне, для создания дополнительного движения бурильной колонны в вертикальном направлении, то есть для вытаскивания колонны из скважины, следовательно для ликвидации прихвата.

Исходя из этого, возникает задача о распространении волн в двухслойных по радиусу составных стержнях (рис.1). При этом внешний стержень помечен цифрой 2 на рисунке представляет собой собственно бурильную колонну, а внутренний - сердечник 4, воспринимает торцевую нагрузку и служит созданию продольных волн разряжения в колонне R_3 .

Для движения составного стержня и передачи динамической нагрузки на нижний торец колонны, составим уравнение, состоящего из бурильной колонны – 2 и сердечника – 4, предназначенного для передачи динамической нагрузки на нижний торец колонны.

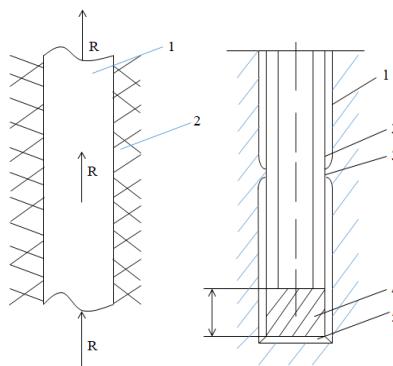


Рис.1 Схематическое изображение сил, действующих на бурильной колонне на прихваченном участке. 1 - участок бурильной колонны, 2 - горная порода. R_1 – статическая растягивающая сила, приложенная на верхний торец бурильной колонны, R_2 – сила прямой волны, возникающая в результате распространения ударной волны в бурильной колонне. R_3 – сила обратной волны, возникающая в результате распространения в бурильной колонне волны разряжения.

Уравнения движения получаются отдельно для каждой составляющей стержня, но при этом учитывается, что напряжение, возникающие в зоне контакта составляющих, равны по величине и противоположно направлены.

Так, для получения уравнения движения колонны рассматривается протяжённый стержень длиной L (длина колонны) с двумя свободными концами. Часть стержня (l_{Π}) подвержена действию сил, направленных по касательной к внешней поверхности стержня в сторону противоположную движению стержня. Эти силы, являющиеся силами трения, подчиняются закону сухого трения и вызывают явление прихвата, ликвидация которого представляет цель исследования. Кроме сил трения, действующих по внешней поверхности стержня (колонны), к его внутренней поверхности (по участку длиной l_c) приложены силы трения, возникающие при движении сердечника. Эти силы (R_2 на рис.1) направлены в сторону движения сердечника и приводят в движение колонну.

Для получения уравнения движения сердечника рассматривается стержень длиной l_c , взаимодействующий с окружающей средой (колонной) по закону сухого трения по всей длине l_c . Один конец сердечника (нижний) свободен, а к другому приложена периодически повторяющаяся импульсная нагрузка $\sigma(t)$. Динамика упругих и неупругих стержней с внешним трением рассмотрены в работах [4,5,6].

Таким образом для каждой составляющей стержня рассматривается процесс движения на отрезке времени $0 < t < t_1$ под действием приложенных к ней сил.

Для обоснования возможности ликвидации прихвата под действием указанных сил воспользуемся теорией нелинейных механических систем, касающейся эффекта вибрационного перемещения. Для этого явления характерно, что возникающий в системе (колонне) под действием вибрации движение $x = X + \phi$ представляет собой наложение "быстрых" высокочастотных колебаний ϕ на «медленное» эволюционное движение X . При этом основной интерес, как правило, представляет именно медленное движение, характеризуемое составляющей X .

Для составления уравнения движения системы воспользуемся вариационным уравнением, представляющим условие минимума полной энергии

$$\int_0^t (\delta T - \delta \Pi + \delta' W) dt = 0 \quad (1)$$

где δT , $\delta \Pi$ – вариации кинетической и потенциальной энергии;

$\delta' W$ – сумма элементарных работ внешних сил, включающая работу сил трения и приложенной нагрузки на возможных перемещениях.

Указанные функции определяются для продольных движений стержня по формулам

$$\begin{aligned} \Pi &= \frac{1}{2} \int_0^l \sigma \varepsilon dx = \frac{1}{2} \int_0^l c \left(\frac{\partial u}{\partial x} \right)^2 dx \\ T &= \frac{1}{2} \rho \int_0^l c \left(\frac{\partial u}{\partial t} \right)^2 dx \\ \delta' W &= \int_0^l \tau \delta u dx \end{aligned} \quad (2)$$

Подстановка (2) в условие (1) и учет граничных условий позволяют получить волновое дифференциальное уравнение в частных производных с соответствующими граничными и начальными условиями для каждой части составного стержня. При решении волновых уравнений возможно использование различных численных методов. В частности, нами разработаны оригинальные программы, реализующие для решения данной задачи метод конечных разностей, метод характеристик и метод конечных элементов.

Применение конечно-элементной дискретизации к вариационному уравнению (1) позволяет получить разрежающую матричную систему дифференциальных уравнений (6), в виде

$$M \ddot{x} = F(\dot{x}, x, t) + \Phi(\dot{x}, x, t, \omega t) \quad (3)$$

где x – неизвестный вектор перемещений; M – матрица масс системы; $t, \omega t = \tau$ – соответственно «медленный» и «быстрый» времена; F, Φ – соответственно «медленный» и «быстрый» время вектор силы.

Основная предпосылка для применения излагаемого подхода состоит в том, что изучаемое «установившееся по быстрому времени τ » движение системы имеет вид

$$x = X(t) + \Phi(t, \omega t) \quad (4)$$

где X, Φ – соответственно медленная и быстрая составляющие.

Предполагая, что функция Φ периодическая по $\omega t = \tau$, причем для определенности положим

$$\langle \Phi(t, \tau) \rangle = 0 \quad (5)$$

т. е. считаем равным нулю среднее значение быстрой составляющей по быстрому времени при «замороженном» медленном. Здесь и далее через $\langle \dots \rangle = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} \dots dt$ обозначен оператор усреднения по быстрому времени $\tau = \omega t$, которые может входить в осредненное выражение как явно, так и через посредство функции Φ .

В нашем случае «быстро» движение бурильной колонны вызывается прилагаемой к сердечнику периодической импульсной нагрузкой, а «медленное» движение вызывается наличием сил упругости, обусловливающих распространение продольной волны растяжения-сжатия и силы трения на локальном участке прихвата.

К примеру, скорость распространения продольной волны в стальной колонне $c = 5200$ м/с, при длине колонны $L = 100$ м время прохождения волны составит $T = \frac{L}{c} = 0,02$ сек, а период прилагаемой импульсной нагрузки τ выбирается в диапазоне $10^{-1} - 10^{-4}$ сек.

Чтобы показать возможность появления «медленного» движения перейдем от (3) к следующей системе интегро-дифференциальных уравнений для функций X и Φ :

$$M \ddot{X} = F(\dot{X}, X, t) + \langle F_1(\dot{X}, X, \Phi, \phi, t) \rangle + \langle \Phi(X + \phi, X + \phi, t, \tau) \rangle \quad (6)$$

$$\begin{aligned} M \ddot{X} &= F_1(\dot{X}, X, \Phi, \phi, t) - \langle F_1(\dot{X}, X, \Phi, \phi, t) \rangle + \Phi(X + \phi, X + \phi, t, \tau) - \\ &\quad - \langle \Phi(X + \phi, X + \phi, t, \tau) \rangle \end{aligned} \quad (7)$$

где через

$$F_1(\dot{X}, X, \Phi, \phi, t) = F(X + \phi, X + \phi, t) - F(\dot{X}, X, t) \quad (8)$$

обозначено быстро изменяющаяся функция, обращающаяся в нуль при $\phi = 0, \dot{\phi} = 0$.

Система (6) и (7) эквивалентна исходному уравнению (3) независимо от темпа изменения функции X и Φ , по крайней мере в том смысле, что если найдено какое-нибудь решение этой системы X и Φ , то выражение $x = X + \phi$, будет решением уравнения (3); это устанавливается сложением уравнений (6) и (7) при учете (8).

Если известно решение $\Phi(\dot{X}, X, t, \tau)$ уравнение (7), то, подставив его в (6), получим

$$M \ddot{X} = F(\dot{X}, X, t) - W(\dot{X}, X, t) \quad (9)$$

где

$$W(\dot{X}, X, t) = -\langle \Phi(X + \phi, X + \phi, t, \tau) \rangle - \langle F_1(\dot{X}, X, \Phi, \phi, t) \rangle \quad (10)$$

Уравнение (9) есть уравнение для определения медленной составляющей \dot{X} , в котором наряду с обычной медленной силой F присутствует некоторая дополнительная медленная вибрационная сила W . Уравнение (9) представляет собой основное уравнение механики медленных движений, а вибрационная сила W является результатом усреднения по быстрому времени «собственно быстрой силы» Φ и силы F_1 , которая выделяется из медленной силы F по траектории движения системы.

При воздействии на сердечник импульсной периодической нагрузки и при наличии локального участка с сухим трением (прихватом) уравнение «медленного» движения колонны с сердечником в матричном представлении будут иметь следующий вид

$$M\ddot{X} = KX - W_F(X) - W_K(X), \quad (11)$$

где вибрационная сила $W_F(X)$ – медленная сила, вызванная наличием участка с сухим трением, а $W_K(X)$ связана с наличием сил упругости (K – матрица жесткости систем).

Таким образом показано, что при действии вибрации на нелинейные диссипативные системы, в последних возникает так называемое вибрационное перемещение, под которым понимается возникновение “направленного в среднем” движения за счет “ненаправленных в среднем” воздействий.

Для обеспечения эффективного продольного перемещения бурильной колонны, необходимо для параметров импульсной нагрузки на сердечник задать режим продольного резонанса, т.е. выбрать частоту нагружения, близкой к частоте собственных колебаний бурового инструмента с целью ликвидации прихвата инструмента и извлечения ее из скважины.

ЛИТЕРАТУРА

1. Комилов Т.О., Санетуллаев Е., Умедов Ш.Х. Экспериментальные исследования промывочных жидкостей, предотвращающих осложнения при бурении нефтяных и газовых скважин. 2019 Журнал. Технологии нефти и газа №1. – Москва, Страницы 42-43.
2. Komilov T.O., Ruzmanov F.I., Raximov A.A., Umedov Sh.X. Ways to create a quality wellbore for smooth casing flow // Palarch's journal of archaeology of egypt/egyptology VOL. 17 NO. 6.2020.
3. Комилов Т.О. Д.Р.Махаматхожаев Усовершенствованный состав бурового раствора для предупреждения поглощения промывочных жидкостей // “Нефтяное хозяйство” выпуск 1167- Москва, 2021. – С.68-74.
4. Шерстнев Н.М., Расизаде Я.М., Ширинзаде С.А. Предупреждение и ликвидация осложнений в бурении. М.:Недра, 1979.304с.
5. Середа Н.Г., Соловьев Е.М. Бурение нефтяных и газовых скважин. М.: Недра, 1974.454с.