



УДК 622.248.9

## КОЛЕБАНИЯ БУРИЛЬНОЙ КОЛОННЫ OSCILLATION OF THE DRILL STRING

**Логинава М.Е.**

кандидат физ.-мат. наук, доцент кафедры бурения,  
Уфимский государственный нефтяной  
технический университет  
ufamel@yandex.ru

**Четвертнев С.С.**

инженер 1 категории,  
ООО НПП «Буринтех»  
chetvertnevss@gmail.com

**Loginova M. E.**

Cand. Sci. (Ph.-m.), Assoc. Prof.  
of the Department of Oil  
and Gas Well Drilling,  
Ufa State Petroleum Technical University,  
ufamel@yandex.ru

**Chetvertnev S.S.**

Category 1 engineer,  
«Burintech»  
chetvertnevss@gmail.com

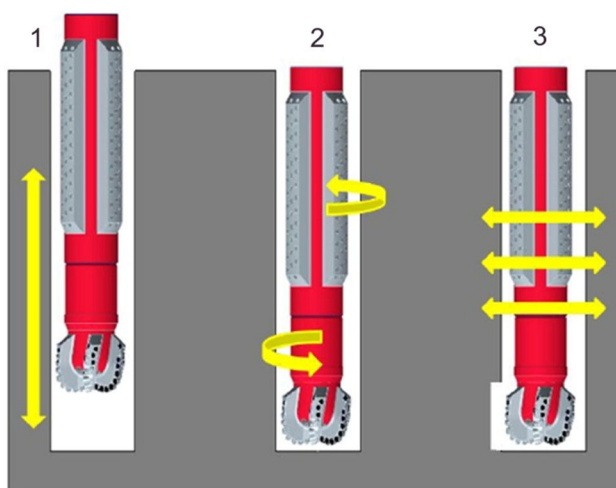
**Аннотация.** В данной статье анализируются главные виды вибраций бурового оборудования, возникающие в процессе строительства скважин: осевые поперечные и крутильные, природа их возникновения, причины возможных проявлений и осложнения, являющихся следствием их действия. Также рассматриваются нужные меры уменьшения их отрицательного влияния и способы увеличения эффективности работ. Долгое время ученые изучали только осевые колебания буровой колонны. Это объясняется тем, что в недалеком прошлом в большинстве случаев при бурении скважин использовались низкомоментные шарошечные долота, которые слабо подвержены крутильным вибрациям, а фиксация поперечных колебаний без специализированного оборудования не представляется возможным.

**Annotation.** This article analyzes the main types of vibrations drilling equipment, arising in the course of construction of wells: axial transverse and torsional, the nature of their occurrence, the causes of possible manifestations and complications that are the result of their action. The necessary measures to reduce their negative impact and ways to increase the efficiency of work are also considered. For a long time, scientists have studied only the axial vibrations of the drill string. This is due to the fact that in the recent past, in most cases, when drilling wells, low-torque roller bits were used, which are poorly exposed to torsional vibrations, and the fixation of transverse vibrations without specialized equipment is not possible.

**Ключевые слова:** крутильные колебания, поперечные вибрации, осевые колебания, демпфер, амортизатор, компоновка низа буровой колонны, долото, шарошечный расширитель, центратор, буровая колонна.

**Keywords:** torsional vibrations, transverse vibrations, axial vibrations, damper, shock absorber, and the layout of the bottom hole Assembly, drill bit, roller cone dilator, the centralizer, drill string.

Большой прогресс в увеличении скорости бурения скважин принесло применение алмазных долот, относящихся к инструменту режуще-скалывающего действия. Однако при этом нужно учитывать некоторые сложности. Так увеличение требуемого крутящего момента приводит к увеличению нагрузок на элементы компоновки низа буровой колонны и появление дополнительных типов вибрации [1]. Это и стало началом развития оборудования, имеющего виброзащитный характер, и в дополнение устройств, регистрирующих колебания.



**Рисунок 1** – Виды колебаний буровой колонны: 1 – осевые 2 – крутильные 3 – поперечные



Было разработано большое количество амортизирующих устройств, работающих на снижение не только осевых колебаний, но и торсионных с поперечными. Для создания конструкции, одинаково воспринимающей все типы колебаний необходимо помнить, что у каждого типа колебаний своя природа возникновения. Непростые условия современной углеводородной торговли требуют применения максимально эффективных и финансово выгодных решений для добычи газа и нефти. Буровые организации и их подрядчики пытаются максимально сократить непродуктивное время, применяя новое высококачественное оборудование. Однако остается много споров, которые не позволяют сделать очередной прогрессирующий рывок вперед. Одной из таких проблем является отрицательное воздействие на буровое оборудование вибраций, которые возникают в процессе разрушения породы. Современные исследователи различают три основных вида колебаний буровой колонны: осевые, крутильные (скручивающие) и поперечные. Ввиду того, что каждый тип имеет различную природу происхождения, описывается определенный набор характерных признаков [2]. Если нет совместного проявления нескольких видов вибраций, то нужно определить какие меры нужно предпринять, чтобы избежать аварий. В силу этого неизбежна сложность определения действий для получения положительных результатов.

### ***Осевые колебания***

Природа данных колебаний буровой колонны изучается инженерами большое количество времени. Известно, что такой тип вибраций возникает при перемежающихся разбуриваемых пластах, имеющих противоположные свойства, а также при наличии твердых включений. На рисунке 1 видно, что направление колебаний совпадает с осью скважины. При увеличении амплитуды колебаний долото начинает подпрыгивать, теряя контакт с забоем. Это характерно для бурения, где используются шарошечные долота. Вследствие этого возникает дополнительная энергия, способствующая разрушению горной породы, но, в то же время, негативно действующая на само долото. Это может привести к сломам и преждевременному износу вооружения долота, повреждению уплотнений, разгерметизации и разрушению опор и, как следствие, к снижению механической скорости проходки [4]. Поэтому необходимо вовремя дать оценку какие вибрации возникают и как предупредить их негативное воздействие и. Как правило, для этого используют акселерометры, которые являются неотъемлемой частью телесистемы, и способны производить замеры сразу в нескольких направлениях. Данные передаются по линии связи на устье и читаются службой телеметрии, она, в свою очередь, сообщает буровой бригаде о необходимости корректирующих мер. При бурении на малых глубинах осевые вибрации могут доходить до устья скважины, на основании этого можно сделать вывод о нестабильности процесса бурения

Осевые колебания имеют небольшой диапазон частот 1–10 Гц и гасятся самой буровой колонной. На скорость затухания колебаний напрямую влияет жесткость компоновки и её вес. Эти показатели достигаются за счет увеличения силы УБТ. Однако бездумное увеличение веса колонны без изменения параметров бурения может привести к возрастанию ударного импульса и повреждению элементов КНБК. Поэтому при возникновении осевых колебаний большой амплитуды следует увеличить нагрузку и уменьшить скорость вращения долота. Будет верным применять долота с низким реактивным моментом. В настоящее время большую популярность имеет использование различных амортизаторов, демпферов и других устройств для гашения вибраций, призванных увеличить ресурс породоразрушающих инструментов и сопутствующих устройств.

### ***Крутильные колебания***

Крутильная или торсионная вибрация проявляется скачкообразные движения буровой колонны, которые вызваны резкими ускорениями и замедлениями при ее вращении. При вращении долото приостанавливается (десятичные доли секунды) с одинаковой периодичностью, что увеличивает крутящий момент и ведет к закручиванию колонны. При превышении момента скручивания над моментами сопротивления срезания горной породы и момента сил трения о периферийную часть скважины происходит резкое ускорение долота – проскальзывание, когда его угловая скорость резко возрастает (в несколько раз). Длительность такого процесса может достигать нескольких минут, а максимальная интенсивность колебаний проявляется в нижней части буровой колонны. Наиболее часто крутильная вибрация проявляется при бурении долотами типа PDC, причем в некоторых случаях, процесс сопровождается поперечными колебаниями забойного оборудования. Данные колебания имеют низкие частоты (до 1 Гц) и могут привести к куда более серьезным последствиям, чем осевые колебания. к основным поломкам можно отнести: слом вооружения долота, особенно в зоне, образующей диаметр стенок скважины; усталостный износ резьбовых соединений по причине их перетяжки повышенным моментом и появляется вероятность отворота и оставление оборудования в скважине. Уменьшение затрат времени на бурение интервала, за счет выбора долот с большой агрессивностью,



зачастую нарушает баланс между появляющимся от горной породы реактивным моментом и жесткостью колонны, что в свою очередь ведет к нарушению стабильности бурения и возникновению закручивающих колебаний. То же самое происходит и при неверно подобранном режиме работы, когда при слишком большой нагрузке и малой скорости вращения вооружение долота сильно заглубляется в породу за один оборот. Нужно знать, что вероятность появления крутильных вибраций увеличивается с ростом глубины и интенсивности набора зенитного угла скважины и при наличии твердых включений. К основным признакам появления торсионных вибраций можно отнести значительное понижение механической скорости проходки до 30–40 % а также если отмечается изменение крутящего момента и угловой скорости порядка 20 процентов периодическое изменение скорости вращения и крутящего момента на 20–25 %. Гашение торсионных вибраций также возможно за счет увеличения веса колонны инструмента, находящегося над долотом, и общим сопротивлением трения периферии скважины. Однако, в отличие от осевого направления, жесткость колонны в тангенциальном направлении недостаточна для полного гашения колебаний, несмотря на введение в ее нижнюю часть множества УБТ, калибраторов и центраторов. Поэтому также, как и в случае с осевой вибрацией основным способом для устранения крутильных колебаний является изменение параметров режима бурения. Для этого ограничивают нагрузку на долото и увеличивают скорость вращения. Возможно также включение в КНБК забойных двигателей с большой частотой вращения и амортизирующих устройств, работающих в тангенциальном направлении.

Целью применения демпферов становится снижение тангенциальной ударной нагрузки на вооружение долота. В большей степени это выгодно при бурении на большие глубины, когда ресурс породоразрушающего инструмента важнее механической скорости проходки. Также большое значение уделяется моментальной очистке забоя и уменьшению силы трения о стенки скважины. Достигается применением смазочных добавок и повышенным расходом бурового раствора.

### ***Поперечные колебания***

Данный тип вибрации описывается маятниковым движением в поперечном направлении. Больше половины отказов и аварий возникают вследствие этих колебаний. В результате поперечного движения бурильной колонны и породоразрушающего инструмента возникает изгиб и завихрение. Под завихрением понимается самоподдерживающееся эксцентричное вращение инструмента вокруг точки, не являющейся центром тела инструмента. При этом происходит спиралеобразное увеличение диаметра ствола скважины. Различают завихрение долота, которое имеет частоту колебаний 5–100 Гц и завихрение КНБК, имеющие частоту колебаний 5–20 Гц соответственно. Завихрение одного элемента может порождать завихрение другого и наоборот, при этом может сопровождаться скручивающей вибрацией с высокой частотой. Завихрения компоновки бывают прямого направления, хаотичного и обратного.

Причиной данного вида колебаний нередко является применение двигателей с большим углом перекоса и долот с большой реззной способностью. При наличии таких колебаний резцы долот PDC подвергаются многократным ударным нагрузкам ввиду того, что лопасти, поочередно касаясь стенок скважины, становятся мгновенным центром вращения долота. При бурении такой породоразрушающий инструмент постоянно контактирует с периферией скважины своей «неагрессивной» частью лопасти, тем самым, исключается возможность образования завихрений. Для повышения жесткости колонны, в таком случае, в компоновку включаются наддолотные калибраторы.

Низкие фрикционные свойства бурового раствора, наличие трения со стенками скважины, а также плохая способность смазывания могут являться причиной появления несоосного вращения компоновки низа бурильной колонны. Такое воздействие со временем может привести к поломке забойных устройств, в частности это относится к гидравлическим двигателям. От того как направлено завихрение зависит какие порядок и тип корректировки будут использоваться.

Следует помнить, что нужно остановить вращение и приподнять долото над забоем, прежде чем переходить из вибрационного режима в зону бурения со стабильными параметрами [3–4]. Это нужно для того, чтобы предотвратить появление комплексного колебательного движения. При крутильных колебаниях и поперечной вибрации нельзя обойтись только применением амортизирующего оборудования. Для уменьшения их отрицательного воздействия полезным будет использование дополнительных устройств, таких как шарошечный расширитель, центратор и др.

Опираясь на вышеизложенное, можно сделать вывод, что использование амортизирующего оборудования высокоэффективно при любых видах колебаний компоновки.

Кроме гашения колебаний к функциям амортизирующих устройств можно отнести: поддержание оптимального режима бурения, снижение негативного влияния трения типа бурильная колонна-стенки скважины; также могут выступать в роли предохранительных устройств в непредвиденных ситуациях: осложнениях, авариях и др.

**Список литературы:**

1. Развитие моделирования параметров КНБК для наклонно-направленного бурения / И.Д. Мухаметгалиев [и др.] // Научные труды НИПИ Нефтегаз ГНКАР. – 2020. – № 4. – С. 15–23.
2. Бадретдинов Т.В., Ямалиев В.У. Анализ колебаний бурильной колонны и применения демпфирующих устройств // Нефтегазовое дело. – 2016. – № 6. – С. 5–22.
3. Развитие различных способов бурения нефтегазовых скважин / И.А. Четвертнева [и др.] // Актуальные проблемы технических, естественных и гуманитарных наук : материалы Международной научно-технической конференции, посвященной памяти профессора В.Х. Хамаева, 28 октября 2022 г. – Уфа. – С. 443–447.
4. Возникновение технологии многоствольного бурения нефтегазовых скважин / И.А. Четвертнева [и др.] // Актуальные проблемы технических, естественных и гуманитарных наук : материалы Международной научно-технической конференции, посвященной памяти профессора В.Х. Хамаева, 28 октября 2022 г. – Уфа. – С. 440–443.

**List of references:**

1. Development of modeling parameters of BHA for directional drilling / I.D. Mukhametgaliev [et al.] // Scientific papers of NIPI Neftegaz SOCAR. – 2020. – № 4. – P. 15–23.
2. Badretdinov T.V., Yamaliev V.U. Analysis of drilling string vibrations and application of damping devices // Neftegazovoye Delo. – 2016. – № 6. – P. 5–22.
3. Development of various methods of drilling oil and gas wells / I.A. Chetvertneva [etc.] // Actual problems of technical, natural and human sciences : Proceedings of the International scientific and technical conference dedicated to the memory of Professor V.Kh. Khamayev, October 28, 2022 – Ufa. – P. 443–447.
4. The emergence of multi-boring technology of oil and gas wells / I.A. Chetvertneva [etc.] // Actual problems of technical, natural sciences and humanities : Proceedings of the International Scientific and Technical Conference in memory of Professor V.H. Khamaeva, October 28, 2022 – Ufa. – P. 440–443.