

**А.А. Третьяк**

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ВИБРОУСТОЙЧИВОСТИ БУРОВЫХ КОРОНОК**

При вращении бурильной колонны система выходит из равновесия и испытывает различные по форме и режиму колебания, при этом периодически меняется величина отклонения оси вращения от оси скважины, угол закручивания и размах колебаний. Вибрации от работы коронки на забое имеют сложную взаимосвязь с режимами бурения, вибрацией бурового снаряда, параметрами станка, физико-механическими свойствами и трещиноватостью горных пород. Анализ данных позволит определить условия потери устойчивости ставом буровых штанг и рассмотреть влияние параметров возникающих вибраций в ставе на вибрации всего станка. Были исследованы вопросы виброустойчивости буровых коронок, армированных алмазно-твердосплавными пластинами. Эксперименты показали, что если в растворе достаточного количества смазки то это способствует уменьшению силы трения бурильной колонны о стенки скважины и снижению затрат энергии потребляемой при бурении. За счет этого можно шире использовать высокие скорости вращения коронки и добиться увеличения механической скорости бурения до 30%, а также увеличить механическую скорость бурения в среднем на 20%.

Ключевые слова: алмазно-твердосплавные коронки, виды вибраций, нагрузки на буровой инструмент, виброграммы.

**Р**аботающая на высоких оборотах в скважине колонна бурильных труб представляет собой упругую, гибкую нитеобразную систему, опирающуюся внизу (через коронку) на забой скважины и закрепленную сверху во вращателе бурового станка. При вращении бурильной колонны система выходит из равновесия и испытывает различные по форме и режиму колебания, при этом периодически меняется величина отклонения оси вращения от оси скважины, угол закручивания и размах колебаний. Колебания колонны могут быть крутильными, поперечными и продольными. Практически колонна испытывает все три вида колебаний. Коронка, входящая в состав колонны бурильных труб, испытывает те же виды колебаний и из-за наличия их чаще всего выходит из строя.

Вибрации, возникающие при бурении, можно разделить на три группы: вибрация от работы коронки на забое, вибрация от

бурового снаряда и вибрации, возникающие от работы оборудования. Вибрации от работы коронки на забое имеют сложную взаимосвязь с режимами бурения, вибрацией бурового снаряда, параметрами станка, физико-механическими свойствами и трещиноватостью горных пород. В процессе проходки скважины каждый резец коронки углубляется при единичном цикле взаимодействия на определенную величину  $\delta$ , которая составляет в среднем меньше 1 мм.

Вибрационный режим бурового става складывается из упругих вибраций самого бурового снаряда и возмущений, накладываемых за счет работы коронки при ее работе на забое. С учетом схемы расчета вибраций бурового снаряда (рис. 1), масса бурового снаряда рассчитывается по формуле:

$$m = P_{oc}/l, \quad (1)$$

где  $P_{oc}$  – осевое давление;  $l$  – переменная длина упругодеформированного бурового снаряда в процессе вибрации, которая может быть выражена уравнением

$$l = l_o - x - x_{oc}, \quad (2)$$

где  $l_o$  – длина недеформированного бурового снаряда;  $x$  – динамическое перемещение верхнего конца бурового снаряда, отсчитываемое относительно положения статического равновесия;  $x_{oc}$  – деформация бурового снаряда под действием силы  $P_{oc}$ .

Пренебрегая весом бурового снаряда и рассматривая его как упругий невесомый стержень, можем написать дифференциальное уравнение колебаний верхнего конца бурового снаряда в виде:

$$m = \frac{d^2x}{dt^2} = -c\Delta l + P_{oc} + H \sin \omega t, \quad (3)$$

где

$$\Delta l = (l_o - l) = x + x_{ст}.$$

Частоту вынужденных колебаний  $\omega$  можно оценить только ориентировочно по ее теоретически возможному максимальному значению.

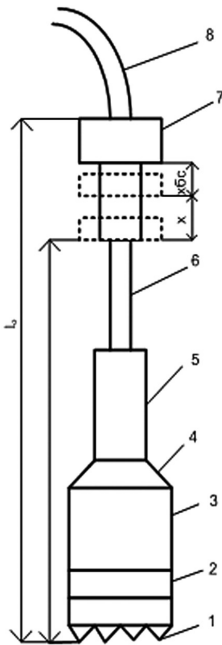


Рис. 1. Схема бурового снаряда: 1 – коронка; 2 – кернорватель; 3 – колонковая труба; 4 – переходник; 5 – утяжеленная буровая штанга; 6 – буровые штанги; 7 – вертлюг-сальник; 8 – нагнетательный шланг

Проведенный теоретический анализ вибрационных режимов бурового снаряда полностью подтверждается экспериментальными данными и показывает, что при анализе устойчивости вынужденными колебаниями можно в первом приближении пренебречь из-за их малости и вести расчет, учитывая только собственные колебания, при этом мы рассматриваем буровой снаряд, как изолированную систему, находящуюся под действием осевых и крутящих усилий и имеющую определенные схемы закрепления концов. Этот анализ позволит определить условия потери устойчивости ставом буровых штанг и рассмотреть влияние параметров возникающих вибраций в ставе на вибрации всего станка.

Нами рассматривается вопрос только с позиций устойчивой работы става, т. е. выбора максимально допустимых значений осевой нагрузки и частоты вращения. Как указывалось выше, границы увеличения скорости вращения буровых коронок, в большинстве случаев, определяются виброустойчивостью бурового снаряда. При определенном сочетании значений осевого давления и скорости вращения инструмента буровой снаряд теряет устойчивость и дальнейшая работа на таких режимах становится невозможной. Поэтому необходимым условием надежной работы станка является применение таких режимов, при которых не происходит потеря устойчивости бурового става. На виброустойчивость става бурового снаряда оказывают влияние следующие основные факторы: режимы бурения (скорость вращения, осевое давление и режим очистки забоя от шлама), параметры бурового снаряда (длина, наружный диаметр, толщина стенок, жесткость соединения элементов, наличие УБТ), степень закрепления концов бурового снаряда.

Нами впервые были исследованы вопросы виброустойчивости буровых коронок, армированных алмазно-твердосплавными пластинами (АТП). Коронка армированная АТП, как и вся бурильная колонна, испытывает крутильные, поперечные и продольные колебания.

Возникающая при этом вибрация увеличивает ударную нагрузку на АТП, приводящую к сколу, слою, интенсивному износу и потере АТП. Устраняется вибрация путем увеличения нагрузки на АТП, уменьшением частоты вращения и увеличением жесткости компоновки колонкового снаряда (применения УБТ).

Оценивая вышеизложенное, необходимо отметить, что для уменьшения вибрации буровая колонна должна быть одноступенчатой.

пенчатой, гладкой, с минимальной разностью по диаметру ее составляющих. С целью уменьшения количества полуволн искривления низа бурильной колонны в состав КНБ необходимо вводить УБТ. В этом случае предлагаемая нами КНБК будет выглядеть следующим образом: антивибрационная коронка, кернорватель, колонковая труба, УБТ, буровые штанги. Применяемая при этом технология должна быть оптимальной, особенно в части осевой нагрузки и частоты вращения коронки.

Запись продольной вибрации колонны осуществлялась по вертикальным движениям направляющего штока шпинделя станка СКБ-4. Поперечная вибрация колонны вблизи устья скважины оценивалась по боковым перемещениям шпинделя. Всего в производственных условиях было записано около 50 виброграмм. Колебания бурового снаряда оценивались с помощью вибрографа ВР-1 путем записи виброграммы.

На рис. 2 представлена виброграмма поперечных колебаний бурильных труб диаметром 63,5 мм, при этом скорость вращения бурового снаряда – 430 об/мин, усилие подачи – 14 кН, количество промывочной жидкости – 140 л/мин, диаметр коронки – 112 мм, категория по буримости VIII. Для бурения скважины использовался высокоингибированный буровой раствор с высокой смазывающей способностью, УБТ диаметром 89 мм, длиной 18 м, виброгаситель диаметром 73 мм.

На рис. 3 представлена виброграмма поперечных колебаний бурильных труб диаметром 63,5 мм, но без использования виброгасителя и УБТ, при этом применялся обычный полимерглинистый раствор с плотностью 1,2 г/м<sup>3</sup>.

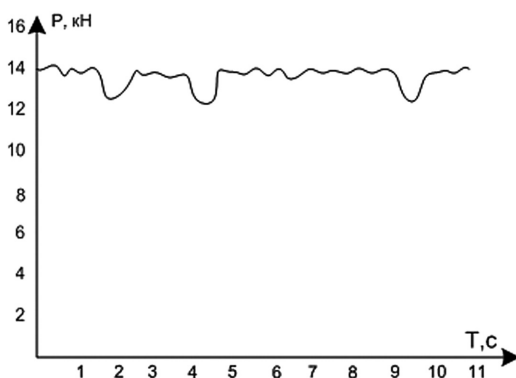


Рис. 2. Виброграмма поперечных колебаний бурильных труб, раствором с высокo смазывающей способностью

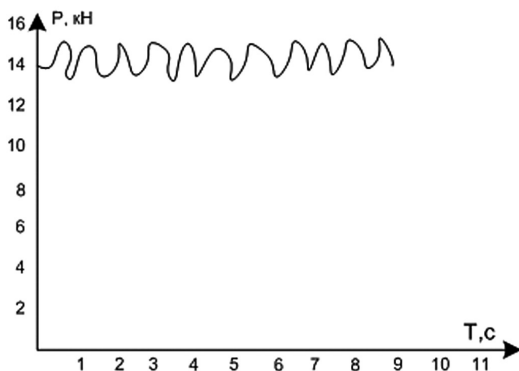


Рис. 3. Виброграмма поперечных колебаний бурильных труб с обычным раствором

Экспериментальные работы по влиянию высокоингибированного бурового раствора с высокой смазывающей способностью и обычного полимерглинистого раствора на уровень вибрации выполнялись при бурении скважин в Неклиновском районе Ростовской области. Средние значения размахов колебаний, полученные при обработке виброграмм, показаны в табл. 1

Из табл. 1 видно, что размах продольных колебаний при бурении с раствором обладающим высоким уровнем смазки снижается в 1,3–1,5 раза, а размах поперечных – в 1,5–2,1 раза. Запись поперечных колебаний труб проводилась в момент, когда глубина скважины достигла 260 м. Скорость вращения труб составляла 430 об/мин, усилие подачи 14 кН, бурение осуществлялось коронками диаметром 112 мм.

Рассмотрим, в каких случаях образуется масляный клин при работе бурильных труб в скважине. Таких случаев возможно три.

Таблица 1

Условия бурения	Скорость вращения, об/мин	Продольная вибрация, мм	Поперечная вибрация, мм
С обычным глинистым раствором	237	0,4	0,9
	430	0,8	2,1
С высокоингибированным раствором с высокой смазывающей способностью (патент RU № 2582197)	237	0,3	0,6
	430	0,5	1,0

Первый случай – при вертикальной вибрации, когда изогнутая колонна труб оказывается прижатой к стенке скважины под некоторым углом  $\varphi_1$ , величина которого зависит от размеров скважины, труб и длины полуволны буровой трубы.

Второй и третий случаи имеют место при вращении колонны труб в скважине либо вокруг собственной оси, либо вокруг оси скважины.

Первый случай можно отождествить с задачей о движении ползуна, полностью решенной в гидродинамической теории смазки. Опыт показывает, что частота продольной вибрации буровых труб при бурении невелика, следовательно, и скорость продольных перемещений трубы сравнительно небольшая.

Поэтому гидродинамические давления, развивающиеся в клиновом зазоре, не могут быть большими и их можно не учитывать.

Второй случай возможен, если труба вращается вокруг собственной оси и если она прижата к стенке скважины. Для сечения скважины правильной формы, вследствие большой разницы в кривизне сечений труб и скважины, длина дуги смазочного слоя будет ничтожной, поэтому в слое смазки не приходится ожидать больших гидродинамических давлений.

Третий случай возможен только на участке скважины, имеющей сечение правильной круглой формы. Известно, что при определенных условиях буровая или колонковая труба могут вращаться вокруг оси скважины. При этом впереди буровой

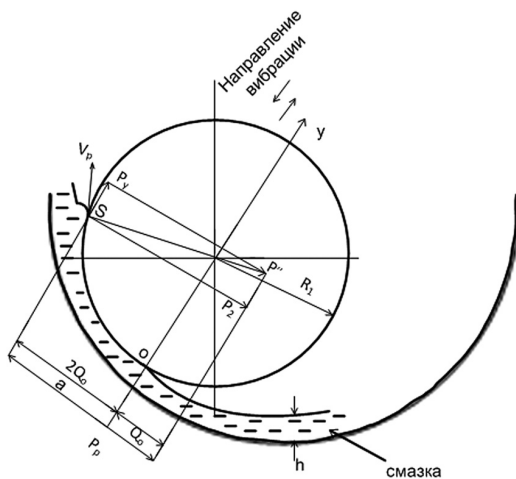


Рис. 4. Образование клинового зазора в слое смазки, при вращении вокруг оси скважины

трубы образуется клиновой зазор, в котором возможно появление избыточного давления (рис. 4).

Гидродинамическое давление развивающееся в слое смазки при поступательном вибрационном движении трубы вдоль линии центров, в некоторый момент времени будет складываться с величиной избыточного давления, образующегося за счет вращения труб. Возникающие при вращении силы разделяют трущиеся поверхности трубы и скважины, способствуют возникновению условий полужидкостного и жидкостного трения. Снижение трения способствует стабилизации крутящего момента и, как следствие, снижению продольной вибрации.

Таблица 2

Состав химреагентов	Раст- вор № 1	Раст- вор № 2	Раст- вор № 3	Раст- вор № 4	Раст- вор № 5	Раст- вор № 6	Раст- вор № 7	Раст- вор № 8	
Мраморная крошка	5,0	6,0	6,0	7,0	8,0	9,0	9,0	10	
ПАЦ 85/700	5,0	6,0	6,5	7,0	7,0	8,0	9,0	10	
KCl	1,5	2,0	2,0	3,0	3,5	4,0	4,5	5	
ФХЛС	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	4,0	4,5	5	
CH <sub>3</sub> SiO <sub>2</sub> K	1,0	2,0	2,0	2,5	3,0	3,5	3,5	4	
CH <sub>3</sub> COOK	1,5	1,5	1,5	2,0	2,5	3,0	3,0	4	
MgCl <sub>6</sub> H <sub>2</sub> O	2,0	2,0	2,5	2,0	3,5	4,0	4,0	5	
Сульфанол	2,0	2,0	2,5	3,0	3,0	4,5	4,5	5	
ГКЖ-11	2,0	2,5	3,0	3,5	3,5	4,0	4,0	5	
Пеногаситель	0,5	0,5	0,5	1	1	1	1	1	
Барит	0,5	1	1	2	2	3	4	5	
Жидкая фаза – ос- тальное Масло/вода	55/45	60/40	65/35	65/35	70/30	75/25	75/25	80/20	
Параметры раствора	плотность, г/см <sup>3</sup> (ареометр)	1,16	1,18	1,19	1,20	1,20	1,21	1,21	1,22
	вязкость, с (СПВ-5)	30	32	33	34	35	36	37	40
	водоотдача, см <sup>3</sup> /30 мин (ВМ-6)	3,5	2,5	1,5	1,5	1,5	1,0	0,5	0
	коэффициент трения (КТК-2)	0,15	0,14	0,17	0,12	0,12	0,08	0,09	0,06

Одним из факторов, уменьшающих вибрацию и, как результат, износ является правильно подобранная промывочная жидкость. Нами рассмотрены факторы, определяющие уровень противоизносных и смазочных свойств, дана оценка энергетической загрузки узлов трения – резец АТП – горная порода, работающих в среде бурового раствора. Предложен, на уровне изобретения, буровой раствор для бурения горных пород с помощью коронок, армированных АТП (патент RU № 2582197).

Оптимальным является буровой раствор № 8 имеющий параметры: плотность – 1,22 г/см<sup>3</sup>, вязкость – 40 с, водоотдача – 0 см<sup>3</sup> за 30 мин, коэффициент трения – 0,06 (табл. 2).

При бурении разведочных скважин на площадях работы Ростовской буровой компании и ОАО «Алроса» доказано улучшение крепящих свойств раствора за счет синергетического эффекта от действия предлагаемых компонентов. Применение этого раствора позволяет успешно сооружать разведочные скважины глубиной до 300 м в условиях работы ОАО «Алроса» и Ростовской буровой компании, представленными высокопластичными глинами и самодиспергирующимися сланцами и пропластками известняков, песчаников от VII до IX категории по буримости.

Предлагаемый раствор обладает улучшенными смазывающими и антиприхватными свойствами при существенных энерго-сберегающих показателях и достаточном уровне экологической безопасности всех добавок, при этом уменьшается риск дифференциальных прихватов, улучшается реологический профиль скоростей промывочной жидкости в кольцевом пространстве и повышается стабильность эмульсии. Это способствует эффективному выполнению гидравлической программы промывки скважины.

Увеличение механической скорости проходки при бурении с высокими скоростями вращения снаряда, увеличение проходки за рейс, сокращение аварийности – все это позволило повысить месячную производительность колонкового бурения в условиях Мирнинской ГРЭ ОАО «Алроса» на 38–40% против плановых показателей. Стоимость 1 м при бурении со смазкой была снижена на 20,4%.

Обобщая выполненные исследования по борьбе с вибрацией необходимо сделать следующие выводы:

1. Из трех типов вибраций – поперечной, крутильной и продольной – последняя является самой значимой.
2. Вибрация бурового става всегда нежелательна, так как не позволяет вести бурения при высоких оборотах.



3. Механическая скорость бурения возрастает на 40% в случае применения антивибрационной коронки, армированной АТП, в комплекте с УБТ, вибрационного амортизатора и бурового раствора с высокой смазывающей способностью. Износостойкость коронок при бурении с амортизаторами увеличивается в среднем в 1,5 раза.

4. Параметры технологии бурения должны быть оптимальными и составлять для коронки диаметром 112 мм: нагрузка 14 кН, частота вращения 430 об/мин, количество промывочной жидкости 140 л/мин. При это средняя категория горных пород составляет VIII, а раствор должен обладает высокой смазывающей способностью.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Третьяк А. А., Савенок О. В., Швец В. В.* Буровые коронки, армированные алмазно-твердосплавными пластинами. Монография. – Новочеркасск: ИД «Политехник», 2015.

2. *Третьяк А. А.* Технология бурения скважин коронками, армированными алмазно-твердосплавными пластинами // Разведка и охрана недр. – 2011. – № 12. – С. 63.

3. *Третьяк А. А., Литкевич Ю. Ф., Савенок О. В., Туровский И. Г.* Патент РФ № 2577351 Стабилизирующая кольцевая буровая коронка. 26.01.2015.

4. *Третьяк А. А., Гроссу А. Н., Борисов К. А.* Конструкция буровых коронок, армированных АТП, с учетом схемы разрушения забоя // Строительство нефтяных и газовых скважин на море и на суше. – 2015. – № 6. – С. 9–12. **VIAS**

#### КОРОТКО ОБ АВТОРЕ

*Третьяк Александр Александрович* – кандидат технических наук, старший преподаватель, e-mail: 130504t@mail.ru, Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова».

Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'. 2016. No. 10, pp. 5–14.

UDC  
622.23.05:  
622.233.54

**A.A. Tret'yak**  
**RESEARCH VIBRATION RESISTANCE**  
**OF DRILL BITS**

By rotating the drillstring system is out of balance and feel different in form and mode of vibration, while periodically changing the value of the rotational axis of the deviation from the axis of the well, twist angle and amplitude of oscillations. The vibrations from the work of the bit at the bottom have a complex relationship with the drilling mode, the vibration of the drill, the machine parameters, physical and mechanical properties and fracture of rocks. Analysis of

the data will determine the conditions for becoming buckling rods, and consider the impact of the parameters occurring vibrations in the vibration puts on the entire machine. questions vibration resistance of drill bits were investigated, reinforced polycrystalline diamond plates. Experiments have shown that if a sufficient amount of lubricant solution it reduces frictional forces on the drill string and the borehole wall during drilling reduce consumed energy. Due to this high speed rotation of the crown can be used to achieve wider and increasing ROP to 30%, and increase in rate of penetration by 20%.

Key words: polycrystalline diamond bits, types of vibration load on the drilling tool vibrogram.

#### AUTHOR

*Tret'yak A.A.*, Candidate of Technical Sciences, Senior Lecturer,  
e-mail: 130504t@mail.ru,  
M.I. Platov South-Russian State Polytechnic University (NPI),  
346428, Novocherkassk, Russia.

#### REFERENCES

1. Tret'yak A. A., Savenok O. V., Shvets V. V. *Burovye koronki, armirovannyyealmazno-tverdosplavnymi plastinami*. Monografiya (Буровые коронки, армированные алмазотвердосплавными пластинами. Monograph), Novocherkassk, ID «Politekhnik», 2015.
2. Tret'yak A. A. *Razvedka i okhrana nedr*. 2011, no 12, pp. 63.
3. Tret'yak A. A., Litkevich Yu. F., Savenok O. V., Turovskiy I. G. *Patent RU 2577351*, 26.01.2015.
4. Tret'yak A. A., Grossu A. N., Borisov K. A. *Stroitel'stvo neftyanykh i gazovykh skvazhin na more i na sushe*. 2015, no 6, pp. 9–12.



#### ОТ РЕДАКЦИИ

В Горном информационно-аналитическом бюллетене № 9 2016 г. в статье авторов Сластунова С.В., Мазаника Е.В., Садова А.П., Понизова А.В. «Углубление пластовой дегазации на основе усовершенствованной технологии подземного гидроразрыва» на с. 296 допущена техническая ошибка.

№ стр.	Опубликовано	Должно быть
296	В связи с изложенным весьма актуальной научно-технической задачей является повышение эффективности пластовой  ISSN 0236-1493. Горный информационно-аналитический бюллетень. 2016. № 9. С. 296–302. © 2016. С.В. Сластунов, Е.В. Мазаник, А.П. Садов, А.В. Понизов.	В связи с изложенным весьма актуальной научно-технической задачей является повышение эффективности пластовой  * Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки РФ, НИР № 1190, базовая часть госзадания по заданию 2014/113.  ISSN 0236-1493. Горный информационно-аналитический бюллетень. 2016. № 9. С. 296–302. © 2016. С.В. Сластунов, Е.В. Мазаник, А.П. Садов, А.В. Понизов.