

УДК 622.24.05

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОГО УГЛА ПОДЪЕМА ЛОПАСТЕЙ НА СПИНКЕ ЛАПЫ ШАРОШЕЧНОГО ДОЛОТА ДЛЯ ГОРИЗОНТАЛЬНОГО БУРЕНИЯ

Гиниятов Данил Саматович¹,
giniyatovds@yandex.ru

Ямалиев Виль Узбекович²,
vilyzich@yandex.ru

¹ Научно-производственное предприятие ООО НПП «БУРИНТЕХ»,
Россия, 450029, г. Уфа, ул. Юбилейная, 4/1.

² Уфимский государственный нефтяной технический университет,
Россия, 450062, г. Уфа, ул. Космонавтов, 1.

Актуальность исследования обусловлена необходимостью разработать шарошечного долота с системой дополнительной механической очистки для интенсификации процесса выноса выбуренной породы при горизонтальном бурении и уменьшения износа вооружения и калибрующей части долота.

Цель исследования: определение оптимального угла подъема винтовой поверхности лопастей системы дополнительной механической очистки шарошечного долота, соответствующего максимальной интенсивности процесса осевого транспортирования бурового шлама.

Объект: процесс транспортирования бурового шлама при различных значениях угла подъема наклонной поверхности.

Методика: экспериментальные стендовые исследования изменения времени осевого транспортирования различных образцов бурового шлама пяти типов горных пород (песчаных, глинистых, карбонатных, сульфатных и галоидных) в зависимости от угла подъема наклонной поверхности; статистический и регрессионный анализ полученных экспериментальных данных.

Результаты. Разработан и изготовлен экспериментальный стенд для исследования изменения времени осевого транспортирования шлама в зависимости от угла подъема наклонной поверхности. Разработана методика определения оптимального значения угла подъема лопастей на спинке лапы шарошечного долота, соответствующего максимальной интенсивности транспортирования образцов бурового шлама. Проведены экспериментальные исследования и статистически обработаны результаты исследования осевого транспортирования образцов бурового шлама пяти типов горных пород при различных значениях угла подъема наклонной поверхности. С достоверностью 99 % установлено, что оптимальное значение угла подъема лопастей на спинке лапы шарошечного долота с системой дополнительной механической очистки забоя горизонтальной скважины лежит в пределах 18–22° при бурении интервалов, представленных песчаными, глинистыми, карбонатными, сульфатными и галоидными горными породами, при промывке раствором на водной основе.

Ключевые слова:

Горизонтальная скважина; оседание бурового шлама; транспортирование выбуренной породы; винтовые лопасти; угол подъема.

Введение

Своевременное удаление выбуренной породы при бурении горизонтальных скважин значительно осложняется в сравнении с процессом очистки ствола при вертикальном бурении. При горизонтальном расположении скважины поток промывочной жидкости воздействует на частички выбуренной породы перпендикулярно направлению их оседания. Все это ухудшает эффективность очистки ствола скважины потоком промывочной жидкости и приводит к оседанию бурового шлама на нижней стенке скважины, образуя шламовые подушки не только по всему стволу горизонтальной скважины, но и в области работы долота [1–6].

Бурение в условиях несвоевременного выноса бурового шлама в наддолотное пространство обуславливает повторное перемалывание уже выбуренной породы, что влечет за собой снижение ресурса вооружения породоразрушающего инструмента. В зависимости от свойств разрушаемой горной породы недостаточная очистка забоя скважины порождает дополнительные осложнения. Так, при бурении твердых и абразивных горных пород

вышеописанный процесс приводит к повышенному износу цилиндрической части долота, а при бурении глинистых пород – к образованию сальников [7–14].

С целью интенсификации процесса выноса выбуренной породы из застойных зон в области работы долота горизонтальной скважины, с которыми не справляется традиционная система промывки, предложено применение системы дополнительной механического транспортирования выбуренной горной породы в наддолотное пространство.

Техническое решение дополнительного механического транспортирования заключается в выполнении винтовых лопастей на поверхности спинок лап шарошечного долота, предназначенных для перемещения выбуренной породы по нижней части стенки скважины, подобно перемещению шлама при шнековом бурении [15].

Цель статьи – определение оптимального угла подъема винтовой поверхности лопастей системы дополнительной механической очистки шарошечного долота, соответствующего максимальной интенсивности осевого транспортирования образцов

бурового шлама из пяти типов горных пород (песчаных, глинистых, карбонатных, сульфатных и галоидных).

Шарошечное долото с системой дополнительной механической очистки для горизонтального бурения

На рис. 1 представлено шарошечное долото для горизонтального бурения с системой дополнительной механической очистки, заключающейся в выполнении на спинке лапы 2–3 рядов винтовых лопастей, цилиндрические поверхности которых защищены от абразивного износа рядом запрессованных твердосплавных зубков. Цилиндрические поверхности винтовых лопастей имеют номинальный диаметр долота, что обеспечивает открытие дополнительных каналов между стенкой ствола скважины и спинками лап шарошечного долота для истечения промывочной жидкости и выноса бурового шлама в наддолотное пространство.

Система механической очистки долота не является основной, а предназначена для очистки застойных зон, с которыми не справляется существующая промывка долота. Поэтому предлагаемая система механической очистки названа дополнительной. Скоростной напор промывочной жидкости способствует перемещению выбуренной породы по винтовым лопастям на спинке лапы долота и создает дополнительный запас надежности по выносу шлама в наддолотное пространство.



Рис. 1. Шарошечное долото для горизонтального бурения

Fig. 1. Roller-cone bit for horizontal drilling

В процессе бурения и соответственного вращения породоразрушающего инструмента винтовые лопасти выносят частички выбуренной породы в наддолотное пространство за счет шнекового эффекта и предотвращают повторное перемалывание их на забое скважины, тем самым снижая износ вооружения. Цилиндрические поверхности винтовых лопастей, имеющих номинальный диаметр и армирование, стабилизируют положение долота внутри ствола и дополнительно калибруют поперечное сечение горизонтальной скважины, что снижает ударные нагрузки на опорные элементы шарошек, соответственно, увеличивая их ресурс и ресурс всего долота в целом.

Характеристика объекта исследований

На рис. 2 показана секция шарошечного долота с системой дополнительной механической очистки, включающая шарошку – 1 и лапу – 2, на которой выполнены два ряда лопастей – 3 и 4. На других секциях также выполнены два или три ряда лопастей, которые размещены на лапах так, чтобы обеспечить полное перекрытие стенки скважины в пределах высоты долота. Основным вопросом при разработке данного долота является определение угла подъема β винтовых поверхностей лопастей – 3, 4 на спинках лап – 2.

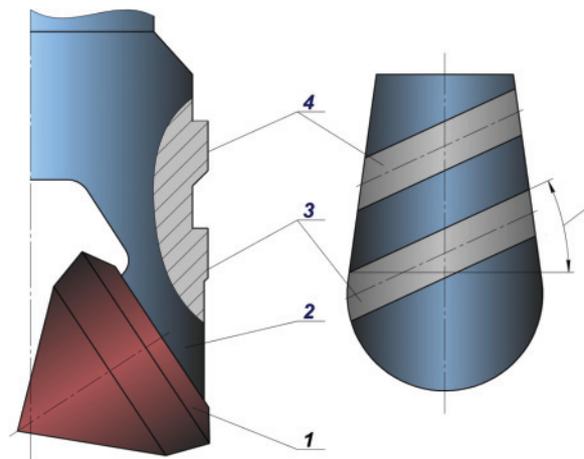


Рис. 2. Секция шарошечного долота с системой дополнительной механической очистки: 1 – шарошка, 2 – лапа, 3 – лопасть 1-го ряда, 4 – лопасть 2-го ряда

Fig. 2. Roller-cone bit section with additional mechanical cleaning system: 1 is the roller-cone, 2 is the leg, 3 is the first-row blade, 4 is the second-row blade

С целью обоснования выбора величины угла подъема β винтовой поверхности лопасти проведены аналитические исследования влияния величины угла на механическое транспортирование выбуренной породы из области работы долота [16, 17]. В результате получена зависимость осевой силы F , под действием которой происходит транспортирование породы, от величины угла β подъема винтовых лопастей на спинке лапы долота (рис. 3).

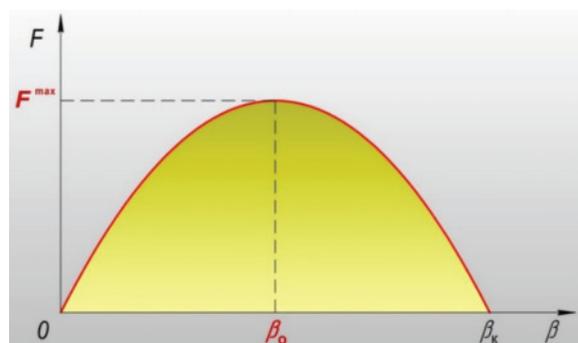


Рис. 3. Общая зависимость величины осевой силы от угла подъема

Fig. 3. General dependence of axial force value on an elevation angle

С увеличением угла β осевая сила F растет и, достигая своего максимума, уменьшается до нулевого значения. При этом нулевое значение осевой силы F соответствует критическому значению угла подъема β_k , при котором происходит остановка скольжения шлама относительно поверхности лопасти и начало его вращения вместе с лопастью и с долотом в целом. При значении угла подъема β меньше критического β_k шлам продолжает скользить относительно винтовой поверхности лопасти и перемещается вдоль стенки скважины под действием осевой силы F . При этом сила F достигает своего максимального значения F^{\max} в точке перегиба и соответствует оптимальному значению угла подъема β_0 [18].

Аналитическими исследованиями установлено [18], что оптимальное значение угла подъема β_0 зависит также от коэффициентов внешнего трения шлама по металлу лопасти f и по горной породе стенки скважины f_d . При этом увеличение коэффициента трения шлама по металлу лопасти f приводит к уменьшению максимального значения осевой силы F_0 и оптимального значения угла подъема β_0 . Это обосновывает выбор оптимального значения угла подъема β_0 также в зависимости от типа разбуриваемых горных пород, что требует проведения экспериментальных исследований.

Экспериментальный стенд и методика исследования

Аналитические исследования взаимодействия горной породы и винтовой поверхности лопасти велись в двумерной плоскости. В экспериментальной модели концентричное вращение лопасти относительно оси скважины заменяется поступательным движением, и для достижения перемещения лопасти относительно стенки скважины выбрана модель транспортерной ленты.

Направляющая, имитирующая лопасть, устанавливается под углом β к транспортерной ленте, имитирующей стенку скважины. При движении лента захватывает исследуемый образец горной породы и транспортирует ее в сторону направляющей. В последующем начинается скольжение горной породы по направляющей, имитируя процесс транспортирования бурового шлама по винтовой поверхности лопасти.

На основе вышеописанной модели разработан и изготовлен экспериментальный стенд для исследования изменения времени осевого транспортирования шлама в зависимости от угла подъема наклонной поверхности (рис. 4).

Экспериментальный стенд имеет следующую конструкцию: лента – 1 приведена во взаимодействие с ведомым барабаном – 2 и ведущим барабаном – 3, которые установлены через подшипники качения на осях – 4 и 5 соответственно. Ось – 4 зафиксирована на опорах ведомого барабана – 6, а ось – 5 – на опорах ведущего барабана – 7. Направляющая – 8 зафиксирована над лентой – 1 с помощью опор – 9 и 10. При этом опора – 10 и направляющая – 8 выполнены с возможностью измене-

ния положения направляющей – 8 относительно опоры – 10 с целью регулирования угла β . Ведущий барабан – 3 приведен во взаимодействие через ременную передачу – 11 со шкивом – 12 смонтированного на выходном валу – 13 редуктора – 14. Входной вал редуктора – 15 соединен с валом – 16 электродвигателя – 17 через муфту – 18. Электродвигатель – 17 питается от сети и включается в нее через вилку – 19. При этом в электросеть между электродвигателем – 17 и вилкой – 19 включен тумблер – 20, который переключается между режимами «включен» и «выключен» с помощью переключателя – 21.

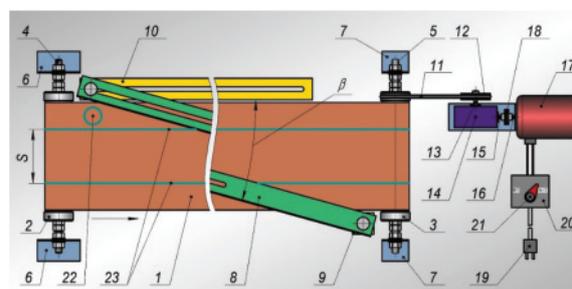


Рис. 4. Экспериментальный стенд для исследования изменения времени осевого транспортирования шлама в зависимости от угла подъема наклонной поверхности. 1 – лента; 2 – ведомый барабан; 3 – ведущий барабан; 4, 5 – оси барабанов; 6, 7 – опоры барабанов; 8 – направляющая; 9 – опора направляющей; 10 – регулируемая опора направляющей; 11 – ремень; 12 – шкив; 13 – выходной вал; 14 – редуктор; 15 – входной вал; 16 – вал электродвигателя; 17 – электродвигатель; 18 – муфта; 19 – вилка; 20 – тумблер; 21 – переключатель; 22 – зона загрузки; 23 – линии отсчета

Fig. 4. Test bench for studying the time change in rock transportation depending on the value of the elevation angle of the inclined surface: 1 is the tape; 2 is the driven drum; 3 is the lead drum; 4, 5 are the drum axes; 6, 7 are the drum supports; 8 is the guide; 9 is the guide support; 10 is the adjustable guide rail; 11 is the belt; 12 is the pulley; 13 is the output shaft; 14 is the reducer; 15 is the input shaft; 16 is the motor shaft; 17 is the motor; 18 is the coupling; 19 is the electric socket; 20 is the toggle; 21 is the switch; 22 is the loading zone; 23 are the reference lines

Экспериментальный стенд работает следующим образом. При подключении вилки – 19 к электросети и включении тумблера – 20 электродвигатель – 17 приводится в действие и через муфту – 18 вращает входной вал – 15 редуктора – 14. Выходной вал – 13 редуктора – 14 через шкив – 12 и ременную передачу – 11 вращает ведущий барабан – 3. Ведущий барабан – 3 приводит в движение ленту – 1, которая с противоположной стороны стенда приведена во взаимодействие с ведомым барабаном – 2, имеющим возможность свободного вращения через подшипники качения. При этом лента – 1 приходит в движение и транспортирует породу из зоны загрузки – 22 в направлении, которое указано стрелкой на рис. 4.

Методология проведения опыта на экспериментальном стенде выглядит следующим образом. На-

правляющая – 8 устанавливается относительно транспортной ленты – 1 на исследуемое значение угла подъема β , и в зону загрузки – 22 укладывается исследуемый буровой шлам. При этом буровой шлам представляет собой измельченную горную породу, смешанную с водой до получения однородной массы. После включения электродвигателя – 17 начинается движение ленты – 1, которая захватывает буровой шлам и транспортирует его по рабочей поверхности направляющей – 8. При достижении буровым шламом первой линии отсчета – 23 засекается время начала опыта, а достижение шламом второй линии отсчета – 23 знаменует окончание опыта. Далее электродвигатель – 17 отключается, а полученное время осевого транспортирования шлама t заносится в журнал.

Результаты экспериментальных исследований

Экспериментальное исследование представляет собой пять параллельных однофакторных экспериментов с регулируемым фактором – углом подъема наклонной поверхности β , равным: 15° , 20° , 25° , 30° и 35° . Исследование проводилось отдельно для образцов пяти типов горных пород: глинистого песчаника, ангидрита, известняка, песчаника среднезернистого с карбонатным цементом и углистого сланца. Переменным откликом выбрано время осевого транспортирования образцов бурового шлама на постоянное расстояние $S=100$ мм (рис. 4).

Все ряды полученных значений времени осевого транспортирования проверены на нормальность распределения по критерию Шапиро–Уилка. Установлено, что вид распределения всех полученных значений времени осевого транспортирования не противоречит нормальному закону [19, 20].

Для всех рядов значений времени осевого транспортирования определены границы доверительных интервалов с надежностью 99 %. К дальнейшему анализу привлекались значения времени осевого транспортирования, входящие в соответствующие доверительные интервалы. Полученные в ходе опытов значения времени транспортирования пересчитывались в осевую скорость движения шлама, исходя из постоянного расстояния между линиями отсчета S .

По значениям осевой скорости транспортирования бурового шлама и соответствующим значениям угла подъема винтовой поверхности лопасти построена точечная диаграмма и линия регрессии, описывающая зависимость осевой скорости транспортирования шлама от угла подъема. На рис. 5–9 приведены результаты экспериментальных исследований для образцов из пяти типов горных пород.

Из полученных графиков на рис. 5–9 видно, что вид зависимости, полученной экспериментальным путем, совпадает с видом, полученным при аналитических исследованиях (рис. 3), также имеет точку экстремума, в которой интенсивность выноса бурового шлама является максимальной.

Указанная точка экстремума соответствует оптимальному значению угла подъема наклонной поверхности β_0 . При этом из графиков видно, что оптимальное значение угла подъема β_0 находится в диапазоне 18 – 22° при бурении интервалов, представленных песчаными, глинистыми, карбонатными, сульфатными и галоидными горными породами, при промывке раствором на водной основе.

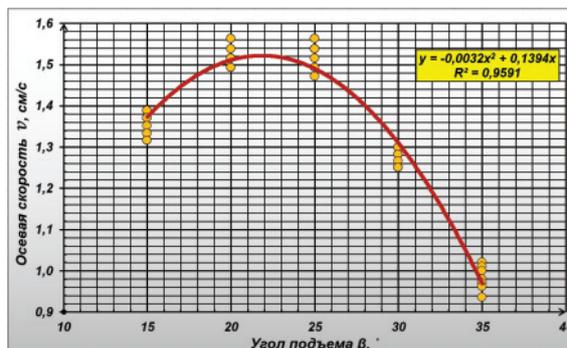


Рис. 5. Осевая скорость транспортирования шлама в зависимости от угла подъема для глинистого песчаника

Fig. 5. Axial transport rate depending on the elevation angle for clay sandstone

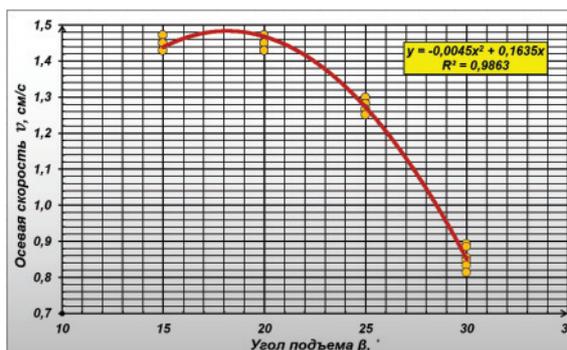


Рис. 6. Осевая скорость транспортирования шлама в зависимости от угла подъема для ангидрида

Fig. 6. Axial transport rate depending on the elevation angle for anhydride

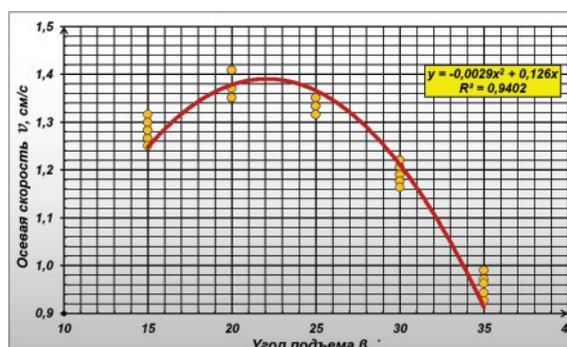


Рис. 7. Осевая скорость транспортирования шлама в зависимости от угла подъема для известняка

Fig. 7. Axial transport rate depending on the elevation angle for limestone

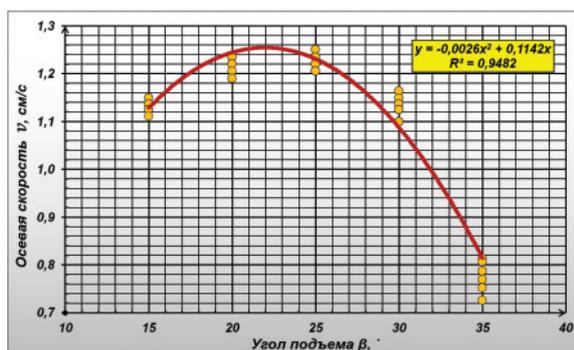


Рис. 8. Осевая скорость транспортирования шлама в зависимости от угла подъема для песчаника с карбонатным цементом

Fig. 8. Axial transport rate depending on the elevation angle for sandstone with carbonate cement

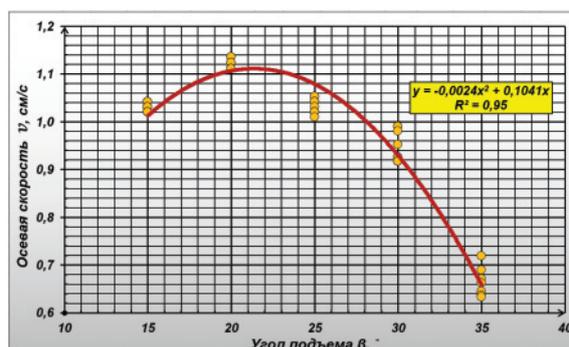


Рис. 9. Осевая скорость транспортирования шлама в зависимости от угла подъема для углистого сланца

Fig. 9. Axial transport rate depending on the elevation angle for coal shale

Выводы

- 1) Разработан и изготовлен экспериментальный стенд для исследования изменения времени осевого транспортирования шлама в зависимости от угла подъема наклонной поверхности.
- 2) Разработана методика определения оптимального значения угла подъема лопастей на спинке лапы шарошечного долота, соответствующего максимальной интенсивности транспортирования образцов бурового шлама.
- 3) Проведены экспериментальные исследования и статистически обработаны результаты исследо-

вания осевого транспортирования образцов бурового шлама пяти типов горных пород при различных значениях угла подъема наклонной поверхности. С достоверностью 99 % установлено, что оптимальное значение угла подъема лопастей на спинке лапы шарошечного долота с системой дополнительной механической очистки забоя горизонтальной скважины лежит в пределах 18–22° при бурении интервалов, представленных песчаными, глинистыми, карбонатными, сульфатными и галоидными горными породами, при промывке раствором на водной основе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Калинин А.Г., Григорян Н.А., Султанов Б.З. Бурение наклонных скважин: справочник. – М.: Недра, 1990. – 348 с.
2. Jurgens R., Bitto R., Henderson B. Horizontal drilling and completions: a review of available technology // Petroleum Engineer International. – 1991. – № 2. – P. 14–21.
3. Joshi S. Horizontal well technology. – Tulsa: Penn Well Publ. Company, 1991. – 535 p.
4. Kennedy J.L. Drilling around the World // Oil and Gas J. – 1974. – V. 72. – № 38. – P. 128–148.
5. Meehan D.H. Technology vital for horizontal well success // Oil and Gas J. – 1995. – XII. – V. 93. – № 50. – P. 18–22.
6. Tanggial M.J. Horizontal flow drilling requires focus on well control // Oil and Gas J. – 1994. – V. 92. – № 24. – P. 119–123.
7. Афиян В.Ю. Основные факторы, влияющие на эффективность очистки ствола наклонно-направленной скважины от шлама // Проблемы геологии и освоения недр: Труды XVII Международного симпозиума имени академика М.А. Усова студентов и молодых ученых. – Томск: Изд-во НИТГУ, 2013. – С. 198–201.
8. Горпинченко В.А., Дильмиев М.Р. Применение синтетического полимерного волокна для увеличения эффективности выноса шлама при бурении долотами PDC // Бурение и нефть. – 2010. – № 6. – С. 6–8.
9. О необходимости учета вибраций при конструировании элементов бурильной колонны / М.Ф. Залаев, В.У. Ямалиев, Е.М. Абуталипова, А.Н. Авренюк // Химическое и нефтегазовое оборудование. – 2016. – № 9. – С. 45–48.
10. Попов А.Н. Разрушение горных пород. – Уфа: УГНТУ, 2009. – 152 с.
11. Сериков Д.Ю. Повышение эффективности шарошечного бурового инструмента с косозубым вооружением. – М.: Нефть и газ, 2015. – 378 с.
12. Besson A., Burr B., Dillard S. On the cutting edge // Oilfield review. – 2000. – № 3. – P. 36–57.
13. Centala P., Challa V., Durairajan B. Bit design – top to bottom // Oilfield review. – 2011. – № 2. – P. 4–17.
14. Unique bit design improves hydraulics and performance / H. Cholet, G. Baron, R. Larayres, J. Brisac // World Oil. – October, 1977. – № 5 – P. 63–65.
15. Катанов Б.А., Сафохин М.С. Режущий буровой инструмент. – М.: Машиностроение, 1976. – 168 с.
16. Попов А.Н., Булюкова Ф.З., Гиниятов Д.С. Механическая очистка зоны работы шарошечного долота в горизонтальной скважине // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. – 2015. – № 4. – С. 41–44.
17. Шарошечное долото для горизонтального бурения: пат. Рос Федерация № 2539472 ПА; заявл. 11.10.2013; опубл. 20.01.2015, Бюл. № 2. – 8 с.
18. Гиниятов Д.С., Ямалиев В.У. Исследование угла подъема винтовой поверхности при механическом транспортировании выбуренной породы из зоны работы долота // Нефтегазовое дело. – 2015. – № 4. – С. 29–35.
19. Адлер В.П., Маркова Е.В., Грановский Ю.В. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. – М.: Наука, 1971. – 284 с.
20. Ишемгузин И.Е., Шайдаков В.В., Ишемгузин Е.И. Обработка информации о надежности нефтепромысловых машин при малой выборке. – Уфа: УНИ, 2007. – 41 с.

Поступила 09.11.2017 г.

Информация об авторах

Гиниятов Д.С., инженер-конструктор Центра разработки Научно-производственного предприятия ООО НПП «БУРИНТЕХ».

Ямалиев В.У., доктор технических наук, профессор кафедры машин и оборудования нефтяных и газовых промыслов Уфимского государственного нефтяного технического университета.

UDC 622.24.05

DEFINITION OF OPTIMUM ANGLE OF ELEVATION OF BLADES ON A BACK OF LEG OF A ROLLER-CONE BIT FOR HORIZONTAL DRILLING

Danil S. Giniyatov¹,
giniyatovds@yandex.ru

Vil U. Yamaliyev²,
vilyzich@yandex.ru

¹ «BURINTEKH», Scientific and production enterprise, Limited Liability Company,
4/1, Yubileynaya street, Ufa, 450029, Russia.

² Ufa State Petroleum Technical University,
1, Kosmonavtov street, Ufa, 450062, Russia.

The relevance of the research is caused by the need to develop a roller-cone bit with the system of additional mechanical cleaning for intensification of rock carrying out at horizontal drilling and corresponding reduction of wear of arms and a calibrating part of a chisel. **The aim** of the research is to define an optimum angle of elevation of blades on a back of leg of a roller-cone bit corresponding to the maximum intensity of axial transportation of drill cuttings.

Object: axial transportation of drill cuttings at various values of an elevation angle of an inclined surface.

Methods: experimental stand investigations of time change of axial transportation of drill cuttings various samples from five types of rocks (sandy, clay, carbonate, sulphatic and haloid) depending on the elevation angle of the inclined surface; statistical and regression analysis of the obtained experimental data.

Results. The authors have developed and produced the test bench for studying the time change of axial transportation of drill cuttings depending on the elevation angle of the inclined surface. The technique of experimental works on determining the optimum value of the elevation angle of blades on a back of a paw of the roller-cone bit corresponding to the maximum intensity of drill cuttings samples transportation was developed. The authors carried out the pilot studies and processed statistically the results of investigation of axial transportation of drill cuttings samples of five types of rocks (sandy, clay, carbonate, sulphatic and haloid) at various values of the elevation angle of the inclined surface. It was determined with the 99 % degree of certainty that the optimum value of the elevation angle of the blades on a back of a paw of the roller-cone bit with the system of additional mechanical cleaning of a horizontal well face lies within 18–22° when drilling the intervals presented by sandy, clay, carbonate, sulphatic and haloid rocks when washing with water-based solution.

Key words:

Horizontal hole, subsidence of drill cuttings, transportation of drilled solids, screw-shaped fans, angle of elevation.

REFERENCES

1. Kalinin A.G., Grigoryan N.A., Sultanov B.Z. *Burenie naklonnykh skvazhin: spravochnik* [Drilling of inclined wells: a guide]. Moscow, Nedra Publ., 1990. 348 p.
2. Jurgens R., Bitto R., Henderson B. Horizontal drilling and completions: a review of available technology. *Petroleum Engineer International*, 1991, no. 2, pp. 14–21.
3. Joshi S. *Horizontal well technology*. Tulsa, Penn Well Publ. Company, 1991. 535 p.
4. Kennedy J.L. Drilling around the World. *Oil and Gas Journal*, 1974, vol. 72, no. 38, pp. 128–148.
5. Meehan D. H. Technology vital for horizontal well success. *Oil and Gas Journal*, 1995, vol. 93, no. 50, pp. 18–22.
6. Tanggial M.J. Horizontal flow drilling requires focus on well control. *Oil and Gas Journal*, 1994, vol. 92, no. 24, pp. 119–123.
7. Afiyan V.Yu. Osnovnye faktory, vliyayushchie na effektivnost ochistki stvola naklonno-napravlennoy skvazhiny ot shlama [The main factors influencing the efficiency of cleaning the wellbore of a directional well from slurry]. *Problemy geologii i osvoeniya nedr: Trudy XVII Mezhdunarodnogo simpoziuma imeni akademika M.A. Usova studentov i molodykh uchenykh* [Problems of geology and mineral resources development: Proc. of the XVII International Symposium named after Academician M.A. Usov of students and young scientists]. Tomsk, NITPU Publ., 2013. pp. 198–201.
8. Gorpichenko V.A., Dilmiev M.R. Using of synthetic polymeric fiber to increase efficiency of cuttings lifting during drilling with pdc bits. *Drilling and oil*, 2010, no. 6, pp. 6–8. In Rus.
9. Zalyaev M.F., Yamaliyev V.U., Abutalipova E.M., Avrenyuk A.N. O neobkhodimosti ucheta vibratsii pri konstruirovanii elementov burilnoy kolonny [On the need to take vibrations into account when constructing elements of a drill string]. *Khimicheskoe i neftegazovoe oborudovanie*, 2016, no. 9, pp. 45–48.
10. Popov A.N. *Razrushenie gornyykh porod* [Destruction of rocks]. Ufa, UGNTU Publ., 2009. 152 p.
11. Serikov D.Yu. *Povyshenie effektivnosti sharoshechnogo burovogo instrumenta s kosozubym vooruzheniem* [Increasing the efficiency of roller-type drilling tools with helical arms]. Moscow, Nedra Publ., 2015. 378 p.
12. Besson A., Burr B., Dillard S. On the cutting edge. *Oilfield review*, 2000, no. 3, pp. 36–57.
13. Centala P., Challa V., Durairajan. B. Bit design – top to bottom. *Oilfield review*, 2011, no. 2, pp. 4–17.
14. Cholet H., Baron G., Larayres R., Brisac J. Unique bit design improves hydraulics and performance. *World Oil*, October, 1977, no. 5, pp. 63–65.
15. Katanov B.A., Safokhin M.S. *Rezhushchiy burvoy instrument* [Cutting Drilling Tools]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1976. 168 p.
16. Popov A.N., Bulyukova F.Z., Giniyatov D.S.. Mechanical cleaning of working area of a rolling cutter drill bit in a horizontal well. *Construction of Oil and Gas Wells on-Land and off-Shore*, 2015, no. 4, pp. 41–44. In Rus.
17. Popov A.N., Giniyatov D.S., Bulyukova F.Z. *Sharoshechnoe dolo to dlya gorizontalnogo bureniya* [Roller bit for horizontal drilling]. Patent RF, no. 2539472 RA, 2015.

18. Giniyatov D.S., Yamaliev V.U. The study of the elevation angle of the screw-type surface in mechanical transportation of the drill cuttings from the bit operation zone. *Oil and gas business*, 2015, no. 4, pp. 29–35. In Rus.
19. Adler V.P., Markova E.V., Granovsky Yu.V. *Planirovanie ehksperimenta pri poiske optimalnykh uslovy* [Planning an experiment when searching for optimal conditions]. Moscow, Nauka Publ., 1971. 284 p.
20. Ishemguzhin I.E., Shaydakov V.V., Ishemguzhin E.I. *Obrabotka informatsii o nadezhnosti neftepromyslovykh mashin pri maloy vyborke* [Processing information on the reliability of oilfield machines with a small sample]. Ufa, UNI Publ., 2007. 41 p.

Received: 9 November 2017.

Information about the authors

Danil S. Giniyatov, design engineer, Development centre, «BURINTEKH», Scientific and production enterprise, Limited Liability Company.

Vil U. Yamaliyev, Dr. Sc., professor, Ufa State Petroleum Technical University.