

УДК 622.24.063

ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА СМАЗОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ БУРОВОЙ ТЕХНОЛОГИИ

Янгиров Фарит Наилевич¹,
bngs-ufa@mail.ru

Яхин Артур Рамилевич¹,
9406622@mail.ru

Мустафин Тимур Салаватович¹,
tumyr-77@mail.ru

Дихтярь Татьяна Дмитриевна²,
dihthtd@gmail.com

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

² Уфимский государственный нефтяной технический университет в г. Октябрьском,
Россия, 452620, г. Октябрьский, ул. Девонская, 54.

Актуальность работы обусловлена необходимостью улучшения эксплуатационных свойств смазочных материалов, применяемых в буровой технологии. В целом их использование приводит к уменьшению абразивного и усталостного износа материала рабочих инструментов, увеличивает срок службы бурового оборудования и бурильного инструмента, что особенно важно для безаварийной работы и повышения технико-экономических показателей при бурении скважин.

Цель исследования: разработать методику выбора оптимального образца смазочной композиции для повышения долговечности и герметичности резьбовых соединений бурильного инструмента путем определения толщины граничного слоя различных смазочных материалов на специально разработанном устройстве.

Методы исследования. Лабораторные испытания свойств (средняя толщина граничного смазочного слоя, критическая нагрузка, нагрузка сваривания, индекс задира, показания износа) различных смазывающих композиций проведены на разработанном устройстве и четырехшариковой машине трения ЧМТ-1 (ГОСТ 32501–2013).

Результаты. Разработанный экспрессный метод выбора смазочного материала по несущей способности, основанный на определении удельной толщины граничного смазочного слоя (метод «стопы»), позволяет подобрать оптимальный образец из испытуемых смазочных композиций. Проведены исследования по определению оптимального процентного содержания присадки на основе соединений серы, добавляемой с целью улучшения эксплуатационных свойств резьбовой смазки Р-416 (ТУ 301–04–020–92). Рекомендовано применение разработанного устройства для дальнейших исследований эксплуатационных свойств смазочных материалов.

Выводы и рекомендации. Разработан экспрессный метод оптимального выбора смазочного материала по несущей способности (методика определения толщины граничного слоя смазки методом «стопы»), испытана присадка МФП-1 на основе сернистых соединений. Результаты испытаний показали, что присадка МФП-1, в определенных пределах соотношения к смазочному материалу, повышает устойчивость к нагрузкам, уменьшает износ трущихся поверхностей и продлевает срок службы элементов трения. Рекомендуется применение разработанного устройства для дальнейших исследований свойств смазочных материалов.

Ключевые слова:

Резьбовые соединения бурильной колонны, резьбовые смазки, метод «стопы», толщина граничного смазочного слоя, нагрузка, триботехнические параметры, присадка.

Введение

Повышение эксплуатационного ресурса резьбовых соединений колонны бурильных труб, другого оборудования и инструмента является особенно важным для безаварийной работы и повышения технико-экономических показателей при бурении скважин. В результате преждевременного износа резьбы и упорных поверхностей ежегодно выбраковываются сотни тысяч замковых деталей вместе с приваренными бурильными трубами [1, 2]. Десятки тысяч тонн стальных бурильных и утяжеленных труб, изготовленных из высококачественной легированной стали (марки 40ХН2МА, 38ХНЗМФА, 45ХГМА и др.) и имеющих в своей конструкции наиболее слабый элемент – резьбовое соединение – не в полной мере используют свой эксплуатационный ресурс [3, 4].

В первую очередь на проникаемость резьбовых соединений влияют конструктивные особенности резьбы. Зазоры в резьбе представляют собой винтовые каналы и носят название конструктивных. Основное назначение конструктивных зазоров – обеспечение удовлетворительного свинчивания–развинчивания резьбовых соединений [5].

Кроме конструктивных зазоров резьбе присущи также зазоры технологического характера, которые определяются отклонением элементов профиля от теоретических (номинальных) размеров [6]. Конструктивные и технологические зазоры в резьбе приводят к тому, что контакт трубы с муфтой в резьбовых соединениях оказывается проникаемым, т. е. соединение само по себе негерметично. Для снижения проникаемости контакта элементов резьбовых соединений в практике приме-

няют различные наполнители конструкционных и технологических зазоров – резьбовые смазки [7]. Резьбовые смазки кроме заполнения зазоров должны предупреждать задиры и заедания резьбовых соединений труб.

Одной из характеристик процесса трения–изнашивания является толщина слоя смазки в месте наибольшего сближения поверхностей контакта [8]. Толщина смазочного слоя оказывает влияние на работоспособность и долговечность трущихся поверхностей. От неё зависят: контактная прочность, силы трения, износостойкость, несущая способность по заеданию, температура силовых контактов [9].

Многие исследователи проявляют исключительный интерес к изменению толщины масляной пленки между контактирующими поверхностями, поэтому существует много методов изучения тонких слоев жидкости на твердых поверхностях, такие как: метод измерения электрической емкости, величины электрического тока во фрикционном контакте и прочие [10]. Также в области трения разработаны различные способы и правила, относящиеся к элементам пар трения при граничной полужидкостной смазке и трении без смазочного материала, к подбору материалов, способам упрочнения поверхностного слоя металла и вопросам смазки [11–13].

В процессе проведения спуско-подъемных операций замковые резьбовые соединения многократно свинчиваются–развинчиваются. При этом на резьбовые соединения действуют значительные контактные нагрузки, которые при взаимодействии сопрягаемых пар приводят к их изнашиванию. Интенсивность этих процессов при многократном свинчивании–развинчивании определяется рядом факторов, одним из которых является тип применяемого антифрикционного уплотнительного состава (резьбовой смазки) [14].

Исследование смазочных материалов на разработанном устройстве, реализующем метод «стопы»

Для анализа процесса изнашивания поверхностей трения следует рассматривать механизм защитного действия смазочных материалов, прочно связанных с металлом граничных смазочных слоев. Металлические поверхности покрываются пленками, которые эффективно защищают поверхность от изнашивания [15, 16]. На кафедре бурения нефтяных и газовых скважин УГНТУ нами была предложена принципиальная схема для реализации метода «стопы» с целью экспериментального определения толщины граничного смазочного слоя и изготовлено соответствующее устройство (рис. 1).

Устройство работает следующим образом.

Цилиндрическая трубка – 3 жестко крепится к стойке – 2 устройства, смонтированной вертикально относительно стола-основания – 1. Затем по

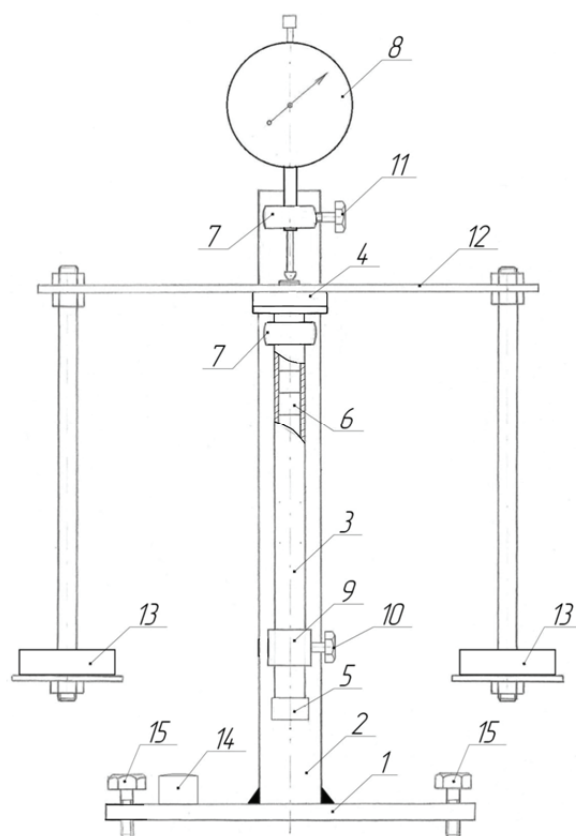


Рис. 1. Принципиальная схема устройства для измерения толщины граничного слоя смазочных материалов: стол-основание – 1 с вертикально закрепленной на сварке стойкой – 2, цилиндрическая трубка – 3 с наливной – 4 и сливной – 5 крышками, бочкообразные ролики – 6, верхние крепления – 7 для трубки и микрометра – 8, нижнее крепление – 9 для трубки с фиксирующим винтом – 10, микрометр – 8 с фиксирующим винтом – 11, коромысло – 12 со съёмными грузами – 13, уровень – 14, винты – 15, регулирующие горизонтальное положение стола-основания – 1

Fig. 1. Schematic diagram of the installation: a housing – 1 with a stand – 2, vertically fixed on the weld, a cylindrical tube – 3 with a filler – 4 and a drain – 5 covers, barrel rollers – 6, upper tube holders – 7 and a micrometer – 8, a lower tube attachment – 9 with a fixing screw – 10, a micrometer – 8 with a fixing screw 11, rocker – 12 with removable weights – 13, level – 14, screws – 15, adjusting the horizontal position of the base table – 1

уровню – 14 стол-основание – 1 выставляется горизонтально с помощью специальных регулирующих винтов – 15. В цилиндрическую трубку – 2 с закрытой сливной крышкой – 5 последовательно помещаются бочкообразные ролики – 6, на которые предварительно наносится исследуемая смазка. После того как ролики – 6 размещены в цилиндрической трубке – 3, ее закрывают крышкой – 4 и устанавливают сверху коромысло – 12. Для исключения воздушных пузырей на границе соприкосновения роликов – 6, коромысло – 12 ненадолго нагружают. После этого устанавливают микрометр – 8 (индикатор ИЧЦ-10-0,001; ТУ 3942-017-74229882-2014) с упором ножки на по-

верхность крышки – 4, фиксируют его винтом – 11 и записывают показания. Последующие измерения перемещения крышки – 4 проводят с постепенным увеличением осевой нагрузки с помощью съемных грузов – 13, которые устанавливаются на коромысло – 12. После проведения опытов, прибор разбирают в обратной последовательности, извлекают все ролики – 6, проталкивая их через сливную крышку – 5. Проводится очистка всех элементов прибора, соприкасающихся с исследуемой смазкой.

Расчет толщины граничного слоя h проводится по полученной нами формуле:

$$h = \frac{\Delta M}{2(n+2)},$$

где ΔM – разность показаний микрометра до и после нанесения смазки; n – число роликов.

Устройство обеспечивает измерение толщины граничного слоя смазочных материалов с погрешностью до 4 % за счет применения бочкообразных роликов и увеличения площади контакта граничных поверхностей. Также устройство позволяет измерять толщину граничного слоя в условиях повышенных осевых нагрузок за счет установленного коромысла со съемными грузами. Это позволяет более эффективно определять несущую способность граничных смазочных слоев при разработке новых смазочных композиций.

Для повышения точности полученных результатов каждый опыт проводится минимум 3 раза. Шероховатость бочкообразных роликов измерялась на приборе TR-110 (портативный измеритель шероховатости), были получены следующие значения:

- $Ra=0,53$ мкм – среднее арифметическое отклонение профиля;
- $Rz=2,74$ мкм – высота неровностей профиля по десяти точкам.

В качестве испытуемых смазочных материалов применялись: промышленное масло И-20А (ГОСТ 20799–88), графитная смазка (ГОСТ 3333–80), солидол (ГОСТ 4366–76), а также резьбовая смазка Р-416 (ТУ 301–04–020–92).

Результаты предварительных опытов приведены в табл. 1.

Из табл. 1 видно, что значения толщины граничного смазочного слоя для различных смазочных материалов существенно отличаются. Наибольшее значение показала смазочная добавка графитная смазка, что подтверждает ее эффективность в ранее проведенных исследованиях [12]. Согласно элементарным представлениям о трении, считается, что в процессе изнашивания неровности одной поверхности зацепляются за неровности сопряженной поверхности. Это приводит к срезанию и выламыванию неровностей при скольжении поверхностей. Поэтому минимальная толщина граничного смазочного слоя h для обеспечения жидкостного трения должна быть как минимум больше суммы шероховатостей [17, 18].

Таблица 1. Результаты испытаний различных смазочных материалов

Table 1. Test results for various lubricants

Испытуемый образец Test sample	Номер опыта Number of experience	Показания микрометра, мкм Micrometer readings, μm	Толщина смазочного слоя h , мкм Thickness of the lubricating layer h , μm	Средняя толщина граничного смазочного слоя, мкм Average thickness of the lubricating layer, μm
И-20А I-20A	1	57	2,71	2,39
	2	56	2,66	
	3	46	2,19	
	4	49	2,33	
	5	43	2,05	
Солидол Solidol	1	93	4,42	4,76
	2	92	4,38	
	3	99	4,71	
	4	102	4,90	
	5	106	5,29	
Графитная смазка Graphite grease	1	150	6,14	6,66
	2	169	7,05	
	3	165	6,86	
	4	158	6,52	
	5	161	6,66	

Если посмотреть на профиль конической замковой резьбы (ГОСТ Р 50864), то видно, что ее износ в процессе свинчивания–развинчивания происходит не по всей длине контактирующей поверхности, а по поверхности контактного трения, которые имеют шероховатость, соответствующую характеру и интенсивности изнашивания материалов, из которых изготовлены эти бурильные трубы.

Для учета влияния шероховатости на состояние смазочного слоя предложено ввести удельную толщину смазочного слоя, определяемую по формуле (1) [19]:

$$\lambda_{yd} = \frac{h}{\sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2}}, \quad (1)$$

где σ_1 , σ_2 – среднеквадратичные отклонения амплитуд шероховатости соответственно первой и второй контактирующих поверхностей.

По параметру λ_{yd} можно оценить способность смазочного материала предотвращать или минимизировать износ и задир, а также снижать усталость материалов при трении. Результаты многочисленных экспериментов показали, что при $\lambda_{yd} < 1$ возникает граничное трение и происходит значительное повреждение трущихся поверхностей; при $1 < \lambda_{yd} < 1,5$ наблюдается смешанное трение (сочетание граничного и жидкостного), сопровождаемое процессом изнашивания поверхностей; при $1,5 < \lambda_{yd} < 3$ кратковременно возникает граничное трение, а в целом осуществляется режим жидкостного трения; при $3 < \lambda_{yd} < 4$ трение почти полностью жидкостное, износ поверхностей очень незначительный; при $\lambda_{yd} > 4$ трение полностью жидкостное [20, 21].

Зная шероховатость поверхности замковой резьбы по ГОСТ 28487–90 $Ra \ll 3,2$ мкм и толщину смазочного слоя, можно определить наиболее предпочтительную концентрацию присадки.

Исследование влияния нагрузки на несущую способность смазочного материала

В процессе бурения на резьбовые соединения буровой колонны действуют значительные статические и динамические нагрузки, которые определяют ее сложное напряженное состояние. Из большого числа различных усилий, действующих на соединительные элементы буровой колонны, можно выделить наиболее характерные из них [22–24]:

- осевые усилия растяжения от собственного веса колонны, которые возрастают по мере приближения к устью скважины;
- осевые усилия сжатия в нижней части колонны, возникающие при создании нагрузки на долото за счет веса утяжеленных буровых труб (УБТ);
- дополнительные усилия растяжения в ниппеле замкового соединения от момента затяжки;
- крутящий момент, необходимый для вращения колонны и долота;
- переменный изгибающий момент, возникающий при работе колонны на искривленных участках ствола скважины, от продольного изгиба при сжатии и под действием центробежных сил;
- усталость материала резьб от знакопеременных, циклических напряжений;
- динамические нагрузки при проведении спуско-подъемных операций (СПО);
- дополнительные растягивающие усилия при прокачивании бурового раствора через колонну буровых труб;
- динамические усилия, связанные с вибрацией колонны от перекачивания по забою долота и пульсации подачи бурового раствора.

Исследование влияния нагрузки на несущую способность смазочного материала также представляет большой интерес. С этой целью был проведен ряд опытов с нагружением от 0 до 10 кг. Результаты опытов для двух различных смазок приведены на рис. 2.

Как видно из данных рис. 2, толщина граничного смазочного слоя уменьшается с повышением нагрузки, что ожидаемо. Для более детального анализа изменения толщины смазочного слоя с учетом повышенных нагрузок для резьбового соединения буровых труб была выбрана резьбовая смазка Р-416. Результаты опытов приведены в табл. 2.

Таблица 2. Результаты испытаний резьбовой смазки Р-416

Table 2. The results of tests of R-416

Испытуемый образец Test sample	Нагрузка, кг Load, kg	Показания микрометра, мкм Micrometer readings, μm			
		Опыт/Experiment			Среднее Average
		1	2	3	
P-416 R-416	0	71,48	71,43	71,41	71,44
	1	48,18	48,10	48,06	48,11
	2	41,52	41,43	41,37	41,44
	4	34,34	34,29	34,25	34,29
	6	29,15	29,05	28,97	29,05
	8	27,68	27,62	27,57	27,62
	10	23,39	23,33	23,31	23,34
	12	21,95	21,90	21,88	21,91
	14	20,51	20,48	20,46	20,48
	16	18,60	18,57	18,88	18,68
	20	17,17	17,14	17,12	17,14
	22	16,44	16,43	16,41	16,42
	24	15,96	15,95	15,94	15,95

По результатам испытаний была построена зависимость толщины смазочного слоя от нагрузки (рис. 3).

Из рис. 3 видно, что с увеличением нагрузки значения толщины смазочного слоя начинают принимать линейную зависимость после $G=10$ кг,

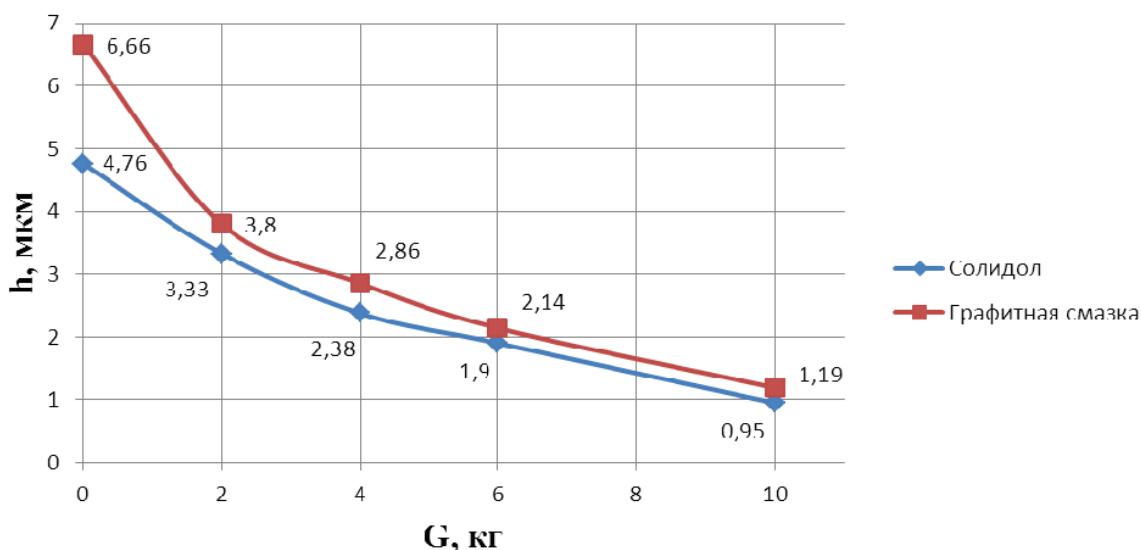


Рис. 2. Результаты испытаний с нагрузкой

Fig. 2. Test results with load

поэтому можно выбрать область, которая будет соответствовать оптимальной нагрузке, и дальнейшие опыты проводить в заданных пределах.

Дальнейшие исследования были направлены на проведение опытов с использованием многофункциональной присадки (МФП-1) на основе соединений серы, применительно к трубной замковой резьбе с целью улучшения смазки Р-416. Для экспрессного метода определения качества использования резьбовых смазок, их сравнения и получения конкретного результата использовалось описанное ранее устройство, позволяющее рассчитать удельную толщину смазывающего слоя (1).

Результаты расчета удельной толщины для различных концентраций присадки МФП-1 приведены в табл. 3.

Таблица 3. Результаты расчета удельной толщины смазочного слоя

Table 3. The results of calculating the specific thickness of the lubricating layer

Испытуемый образец Test sample	Процентное содержание МФП-1, % Percentage of MFA-1, %	Удельная толщина смазочного слоя, мкм Specific thickness of the lubricating layer, μm
P-416 R-416	0	3,68
1	2	3,63
2	4	3,26
3	6	3,47
4	8	3,40

Из табл. 3 видно, что содержание 2 % МФП-1 в резьбовой смазке Р-416 является наиболее оптимальным. Удельная толщина смазочного слоя лежит в области кратковременного граничного трения. Для наиболее качественной оценки наших опытов данные образцы были проверены на четырехшариковой машине трения ЧМТ-1 по методике, изложенной в ГОСТ 32501–2013. Данная машина предназначена для обеспечения проведения

испытаний жидких и пластичных смазочных материалов, применяемых с целью определения их триботехнических характеристик. Результаты испытания на ЧМТ-1 приведены в табл. 4.

Таблица 4. Результаты испытаний на ЧМТ-1

Table 4. The results of tests on the head injury

Испытуемый образец Test sample	Критическая нагрузка, Н Critical load, N	Нагрузка сваривания, Н Welding load, N	Индекс задира Bully index	Показания износа, мм Wear indication, mm
P-416 R-416	1100	2800	519	2,0
1	1450	4900	755	1,8
2	1225	4700	1684	2,2
3	1220	4600	1217	1,8
4	1260	5000	760	1,9

Наилучшие показания износа показали первый и третий образец, которые соответствуют 2 и 6 % добавления сернистой присадки в Р-416. В целом по результатам стендовых испытаний видно, что первый образец обладает более высокими триботехническими параметрами, что соответствует нашим лабораторным испытаниям. Дальнейшие исследования планируется направить на оценку исследуемых свойств резьбовых смазочных материалов в их рабочем диапазоне температур.

Выводы и рекомендации

В результате исследовательской работы разработан экспрессный метод оптимального выбора смазочного материала по несущей способности (методика определения толщины граничного слоя методом «стопы»), испытана присадка на основе сернистых соединений, которая в настоящее время не нашла своего применения в буровой технологии.

По результатам испытаний можно сказать, что данная присадка, в определенных пределах соотношения к смазочному материалу, повышает

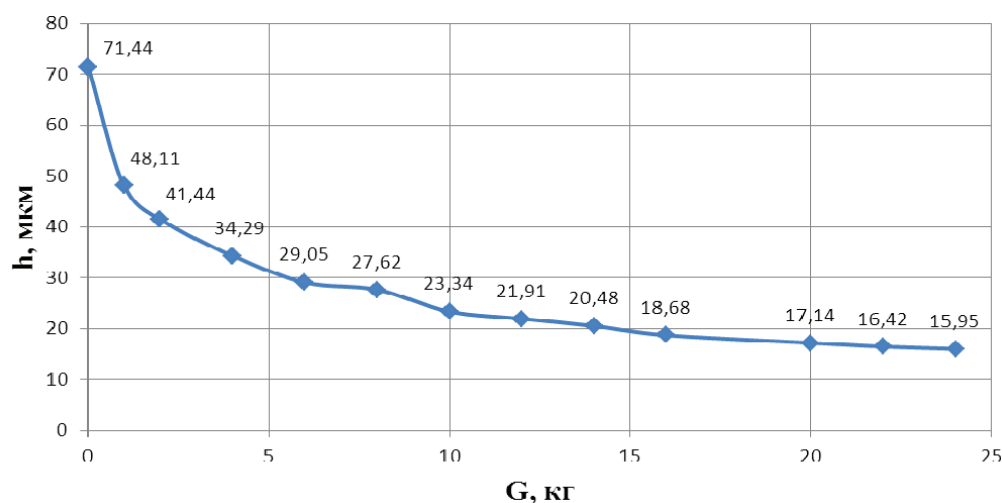


Рис. 3. График зависимости толщины смазочного слоя от нагрузки

Fig. 3. Dependence of the lubricating layer thickness on load

устойчивость к нагрузкам, уменьшает износ трущихся поверхностей и продлевает срок службы элементов трения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Современные тенденции развития смазочных добавок в бурении / Ю.Н. Мойса, Н.В. Фролова, К.С. Бармотин, А.М. Бородин // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. – 2007. – № 3. – С. 10–14.
2. Причины и особенности разрушения элементов компоновки буровой колонны в современных условиях геолого-технической эксплуатации / Р.Н. Бахтизин, Н.К. Ценев, Р.А. Исмаков, А.Р. Яхин, М.Н. Назарова // Сервисные услуги в добыче нефти: Материалы II научно-технической конференции. – Уфа, 2015. – С. 25–37.
3. Исследования антикоррозионных свойств смазочных добавок для буровых растворов / В.П. Бондаренко, А.С. Садырбаева, Ж.К. Надинова, А.М. Туребекова, Н.В. Шугаева // Знание. – 2017. – № 1–1 (41). – С. 25–33.
4. Упрочнение поверхностей для повышения ресурса работы буровых труб / А.Р. Яхин, Р.А. Исмаков, Р.Р. Гарифуллин, Ф.Н. Янгиров // Нефтегазовое дело: электрон. науч. журн. – 2014. – № 4. URL: http://www.ogbus.ru/issues/4_2014/ogbus_4_2014_p381-399_YakhinAR_ru.pdf (дата обращения: 10.06.2017).
5. Оценка изменения объема изношенного материала в зависимости от подачи смазочного материала / С.И. Платов, Р.Р. Дема, Р.Н. Амиров, Ю.Х. Гатагулина // Механическое оборудование металлургических заводов. – 2013. – № 2. – С. 16–18.
6. Маленко П.И., Релмасира К.Д., Леонов А.Ю. Особенности структурно-фазовых превращений в поверхностных слоях сталей при трении скольжения со смазочным материалом // ПОЛИКОМТРИБ-2015: Тезисы докладов международной научно-технической конференции. – Гомель, 2015. – С. 98.
7. Ванин А.В. Влияние пропитки смазочных материалов на триботехнические свойства пористых композиционных материалов // Научный обзор. – 2014. – Т. 4. – № 3. – С. 85–91.
8. Грей Дж.Р., Дарли Г.С. Состав и свойства буровых агентов (промывочных жидкостей). – М.: Недра, 1985. – 124 с.
9. Aston M.S., Hearn P.J., McGhee G. Techniques for Solving Torque and Drag Problems in Today's Drilling Environment // SPE Annual Technical Conference and Exhibition. – New Orleans, 1998. URL: <https://doi.org/10.2118/48939-MS> (дата обращения 29.06.2017).
10. Novel Lubricants for Water-Based Drilling Fluids / F.B. Growcock, T.P. Frederick, A.R. Reece, G.W. Green, M.D. Ruffin // SPE International Symposium on Oilfield Chemistry. – Houston, 1999. URL: <https://doi.org/10.2118/50710-MS> (дата обращения 29.06.2017).
11. Bol G.M. Effect of Mud Composition on Wear and Friction of Casing and Tool Joints // SPE Drilling Engineering. – 1986. – V. 1. – Iss. 5. URL: <https://doi.org/10.2118/13457-PA> (дата обращения 29.06.2017).

Рекомендовано применение разработанного устройства для дальнейших исследований свойств смазочных материалов.

12. Янгиров Ф.Н. Улучшение показателей бурения применением новой смазки в резьбовых соединениях бурового инструмента: дис. ... канд. техн. наук. – Уфа, 1999. – 196 с.
13. Янгиров Ф.Н., Яхин А.Р., Михеев Л.Д. Совершенствование смазочных добавок к буровым растворам // Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов. – 2016. – № 4 (106). – С. 21–27.
14. Maidla E.E., Wojtanowicz A.K. Laboratory Study of Borehole Friction Factor with a Dynamic-Filtration Apparatus // SPE Drilling Engineering. – 1990. – V. 5. – Iss. 3. URL: <https://doi.org/10.2118/18558-PA> (дата обращения 29.06.2017).
15. Lammons A.D. Field use documents glass-bead performance // Oil Gas J. – 1984. – V. 82. – № 48. – P. 109–112.
16. Исследование износостойкости замков буровых труб при трении о горную породу в различных средах / А.Р. Яхин, Г.В. Конесев, Ф.Н. Янгиров, А.М. Фролов // Территория Нефтегаз. – 2014. – № 6. – С. 30–35.
17. Brookey T., Bird J., Garret C. Copolymer Beads Aid Horizontal Drilling Operations by Reducing Sliding Wellbore Friction // 4th International Conference on Horizontal Well Technology. – Houston, 1992. – P. 128–132.
18. Method for the Production of PVC Particles: pat. USA № W01997040076 A1; stated 21.04.1997; publ. 30.10.1997. URL: <http://www.google.ch/patents/WO1997040076A1> (дата обращения 01.07.2017).
19. Захарченко А.В. Толщина смазочного слоя в трибосопряжениях как характеристика параметров процесса // Вестник национального технического университета Харьковский политехнический институт. – 2012. – № 36. – С. 61–69.
20. Field Experience Shows that New Lubricant Reduces Friction and Improves Formation Compatibility and Environmental Impact / W.E. Foxenberg, S.A. Ali, T.P. Long, J. Vian // SPE International Symposium and Exhibition on Formation Damage Control. – Lafayette, 2008. URL: <https://doi.org/10.2118/112483-MS> (дата обращения 29.06.2017).
21. Sönmez A., Kök M.V., Özel R. Performance analysis of drilling fluid liquid lubricants // Journal of Petroleum Science and Engineering. – 2013. – V. 108. – P. 64–73.
22. Knox D., Jiang P. Drilling Further with Water-Based Fluids – Selecting the Right Lubricant // SPE International Symposium on Oilfield Chemistry. – The Woodlands, 2005. URL: <https://doi.org/10.2118/92002-MS> (дата обращения 29.06.2017).
23. Рекин С.А. Исследование и разработка методов прогнозирования износа элементов буровых колонн при строительстве скважин: дис. ... д-ра техн. наук. – Уфа, 2005. – 248 с.
24. Трение, изнашивание и смазка: справочник в 2-х кн. Кн. 2 / под ред. И.В. Крагельского, В.В. Алисына. – М.: Машиностроение, 1979. – 358 с.

Поступила 04.10.2017 г.

Информация для авторов

Янгиров Ф.Н., кандидат технических наук, доцент кафедры бурения нефтяных и газовых скважин Уфимского государственного нефтяного технического университета.

Яхин А.Р., кандидат технических наук, доцент кафедры бурения нефтяных и газовых скважин Уфимского государственного нефтяного технического университета.

Мустафин Т.С., студент магистратуры кафедры бурения нефтяных и газовых скважин Уфимского государственного нефтяного технического университета.

Дихтарь Т.Д., кандидат технических наук, доцент кафедры разведки и разработки нефтяных и газовых месторождений филиала Уфимского государственного нефтяного технического университета в г. Октябрьском.

UDC 622.24.063

SUBSTANTIATION OF LUBRICANT SELECTION FOR DRILLING TECHNOLOGY

Farit N. Yangirov¹,
bngs-ufa@mail.ru

Artur R. Yakhin¹,
9406622@mail.ru

Timur S. Mustafin¹,
tumyr-77@mail.ru

Tatiana D. Dikhtyar²,
dihhttd@gmail.com

¹ Ufa State Petroleum Technological University,
1, Kosmonavtov street, Ufa, 450062, Russia.

² Branch of Ufa State Petroleum Technical University in the City of Oktyabrsky,
54, Devonskaya street, Oktyabrsky, 452620, Russia.

The relevance of the work is caused by the need to increase the effectiveness of lubricating materials used in drilling technology. In general, their application leads to reduction in abrasive and fatigue wear of tool material, and increases the service life of drilling equipment, which is especially important for trouble-free operation and improvement of technical and economic parameters during well drilling.

The aim of the research is to develop a procedure for selecting the optimal lubricant composition to improve the durability and tightness of drilling tool threaded connections by determining the thickness of the boundary layers of various lubricants at the specially designed unit.

Research methods. Laboratory tests of properties (average thickness of lubricant layer, critical load, welding load, load wear index, wear indications) of various lubricating compositions were carried out at the developed test unit and using the four-ball friction machine ChMT-1.

Results. The developed express method of lubricant selection according to load-carrying capacity based on the lubricating layer specific thickness calculation (the «pile» method) allows us to choose the optimum type from the lubricant compositions tested. The authors have determined the optimum percentage of additive content based on sulfur compounds added to improve the P-416 thread lubricant for pipe locking threads. The test unit developed is recommended for further preliminary studies of lubricant properties.

Conclusions and recommendations. The authors have developed the express technique for optimal selection of lubricant according to its carrying capacity (technique of determining lubricant boundary thickness by the «pile» method), tested the MFA based on sulfur compounds. The research results showed that MFA additive in certain limits of the ratio to the lubricant increases the threaded connection susceptibility to loads, decreases rubbing surface wear and extends the service life of frictional elements. The authors recommend to apply the device developed for further studies of lubricant features.

Key words:

Drill string threaded connections, thread lubricants, «pile» method, thickness of lubricating layer, load, tribotechnical parameters, additive.

REFERENCES

1. Moysa Yu.N., Frolova N.V., Barmotin K.S., Borodin A.M. Current trends in development of lubricating additives in drilling. *Construction of oil and gas wells on the land and at sea*, 2007, no. 3, pp. 10–14. In Rus.
2. Bakhtizin R.N., Tsenev N.K., Ismakov R.A., Yakhin A.R., Nazarova M.N. Prichiny i osobennosti razrusheniya elementov komponentov burilnoy kolonny v sovremennykh usloviyakh geologotekhnicheskoy ehkspluatatsii [Causes and peculiarities of destruction of elements of drill string arrangement in modern conditions of geological and technical exploitation]. *Servisnye uslugi v dobyche nefi. Materialy vtoroy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii* [Services in oil production: Proc. of the II scientific and technical conference]. Ufa, UGNTU Publ., 2015. pp. 25–37.
3. Bondarenko V.P., Sadyrbaeva A.S., Nadirova Zh.K., Turebekova A.M., Shugaeva N.V. Issledovaniya antikorroziionnykh svoystv smazochnykh dobavok dlya burovnykh rastvorov [Research of anticorrosive properties of lubricant additives for drilling muds]. *Znanie*, 2017, no. 1–1 (41), pp. 25–33.
4. Yakhin A.R., Ismakov R.A., Garifullin R.R., Yangirov F.N. Hardening surfaces for increasing service life of drill pipes. *Oil and gas business: electron. sci. journal*, 2014, no. 4, pp. 381–399. In Rus. Available at: http://www.ogbus.ru/issues/4_2014/ogbus_4_2014_p381-399_YakhinAR_ru.pdf (accessed at 10 June 2017).
5. Platov S.I., Dema R.R., Amirov R.N., Gatatulina Yu.Kh. Estimation of the change in the volume of worn material, depending on the supply of lubricant. *Mechanical equipment of metallurgical plants*, 2013, no. 2, pp. 16–18. In Rus.
6. Malenko P.I., Relmasira K.D., Leonov A.Yu. Osobennosti strukturno-fazovykh prevrashcheny v poverkhnostnykh sloyakh staley pri trenii skolzheniya so smazochnym materialom [Features of structural-phase transformations in surface layers of steels during sliding friction with a lubricant]. *POLIKOMTRIB-2015: Tezisy dokladov mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii* [POLIKOMTRIB-2015: Theses of the reports of the international scientific and technical conference]. Gomel, 2015. pp. 98.
7. Vanin A.V. Influence of impregnation of lubricants on tribotechnical properties of porous composite materials. *Scientific review*, 2014, vol. 4, no. 3, pp. 85–91. In Rus.
8. Grey G.R., Darli G.S. *Sostav i svoystva burovnykh agentov (promyvochnykh zhidkostey)*. [Composition and properties of drilling agents (washing liquids)]. Moscow, Nedra Publ., 1985. 509 p.
9. Aston M.S., Hearn P.J., McGhee G. Techniques for Solving Torque and Drag Problems in Today's Drilling Environment. *SPE Annual Technical Conference and Exhibition*. New Orleans, 1998.

- Available at: <https://doi.org/10.2118/48939-MS> (accessed 29 June 2017).
10. Growcock F.B., Frederick T.P., Reece A.R., Green G.W., Ruffin M.D. Novel Lubricants for Water-Based Drilling Fluids. *SPE International Symposium on Oilfield Chemistry*. Houston, 1999. Available at: <https://doi.org/10.2118/50710-MS> (accessed 29 June 2017).
 11. Bol G.M. Effect of Mud Composition on Wear and Friction of Casing and Tool Joints. *SPE Drilling Engineering*, 1986, vol. 1, Iss. 5. Available at: <https://doi.org/10.2118/13457-PA> (accessed: 29 June 2017).
 12. Yangirov F.N. *Uluchshenie pokazateley bureniya primeneniem novoy smazki v rezbovykh soedineniyakh burilnogo instrumenta*. Dis. Kand. nauk [Improving the drilling performance using a new lubricant in the threaded joints of the drilling tool. Cand. Diss.]. Ufa, 1999. 196 p.
 13. Yangirov F.N., Yakhin A.R., Mikheev L.D. Perfection of lubricant additives to drilling mud. *Problems of gathering, preparation and transport of oil and oil products*, 2016, no. 4 (106), pp. 21–27. In Rus.
 14. Maidla E.E., Wojtanowicz A.K. Laboratory Study of Borehole Friction Factor with a Dynamic-Filtration Apparatus. *SPE Drilling Engineering*, 1990, vol. 5, Iss. 3. Available at: <https://doi.org/10.2118/18558-PA> (accessed: 29 June 2017).
 15. Lammons A.D. Field use documents glass-bead performance. *Oil Gas J.*, 1984, vol. 82, no. 48, pp. 109–112.
 16. Yakhin A.R., Konesev G.V., Yangirov F.N., Frolov A.M. Investigation of the wear resistance of drill pipe locks in friction against rock in various media. *Territory of Neftegaz*, 2014, no. 6, pp. 30–35. In Rus.
 17. Brookey T., Bird J., Garret C. Copolymer Beads Aid Horizontal Drilling Operations by Reducing Sliding Wellbore Friction. *4th International Conference on Horizontal Well Technology*. Houston, 1992. pp. 128–132.
 18. *Method for the Production of PVC Particles*: pat. USA № WO1997040076 A1. Available at: <http://www.google.ch/patents/WO1997040076A1> (accessed: 1 July 2017).
 19. Zakharchenko A.V. The thickness of the lubricating layer in tribo-conjugations as a characteristic of process parameters. *Vestnik of the National Technical University Kharkov Polytechnic Institute*, 2012, no. 36, pp. 61–69. In Rus.
 20. Foxenberg W.E., Ali S.A., Long T.P., Vian J. Field Experience Shows that New Lubricant Reduces Friction and Improves Formation Compatibility and Environmental Impact. *SPE International Symposium and Exhibition on Formation Damage Control*. Lafayette, 2008. Available at: <https://doi.org/10.2118/112483-MS> (accessed 29 June 2017).
 21. Sönmez A., Kök M.V., Özel R. Performance analysis of drilling fluid liquid lubricants. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 2013, vol. 108, pp. 64–73.
 22. Knox D., Jiang P. Drilling Further with Water-Based Fluids – Selecting the Right Lubricant. *SPE International Symposium on Oilfield Chemistry*. The Woodlands, 2005. Available at: <https://doi.org/10.2118/92002-MS> (accessed: 29 June 2017).
 23. Rekin S.A. *Issledovanie i razrabotka metodov prognozirovaniya iznosa elementov burilnykh i obsadnykh kolonn pri stroitelstve skvazhin*. Dis. Dokt. nauk [Research and development of methods for predicting wear of drilling and casing string elements during well construction. Dr. Diss.]. Ufa, 2005. 248 p.
 24. *Trenie, iznashivanie i smazka: spravochnik* [Friction, wear and lubrication: a handbook]. Eds. I.V. Kragelsky, V.V. Alisin. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1979. 358 p.

Received: 4 October 2017.

Information about the authors

Farit N. Yangirov, Cand. Sc., assistant professor, Ufa State Petroleum Technological University.

Artur R. Yakhin, Cand. Sc., assistant professor, Ufa State Petroleum Technological University.

Timur S. Mustafin, Master student, Ufa State Petroleum Technological University.

Tatiana D. Dikhtyar, Cand. Sc., assistant professor, Branch of Ufa State Petroleum Technical University in the City of Oktyabrsky.