



ИССЛЕДОВАНИЕ КИНЕТИКИ ИЗМЕНЕНИЯ ТОЛЩИНЫ ГРАНИЧНЫХ СЛОЕВ СМАЗОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ ПРИМЕНИТЕЛЬНО К БУРОВОЙ ТЕХНОЛОГИИ

Р.А.Исмаков^{*1}, В.Г.Конесев², Ф.Н.Янгиров¹,
Г.Л.Гаймалетдинова¹, А.Р.Яхин¹

¹Уфимский государственный нефтяной технический университет, Уфа, Россия;
²ООО «Газпромнефть - НТЦ», Санкт-Петербург, Россия

Research of the Kinetics of Thickness of the Boundary Layers of Lubricating Materials Applied to Drilling Technology

R.A.Ismakov^{*1}, V.G.Konesev², F.N.Yangirov¹, G.L.Gaymaletdinova¹, A.R.Yahin¹

¹Ufa State Petroleum Technological University, Ufa, Russia;

²«Gazpromneft-STC» LLC, Saint Petersburg, Russia

Abstract

Improving the operational properties of lubricants increases the service life of the mechanisms and increase the durability of rubbing joints, which has a positive effect on the indicators of technical and economic efficiency and equipment safety. Therefore, great attention in tribology is paid to the analysis of the state of friction units in technology and the assessment of their resource characteristics, which makes it possible to increase their service life. The research aim is to study the general provisions on lubricants and lubricants, as well as the features of the boundary layers formation on friction surfaces and the observed patterns. Calculations of the boundary layers thickness using lubricating reagents at different energetic loading of the friction pair were carried out as applied to the roller bearing of a roller cone bit in the medium of cylinder oil 52 and DPS grease. The proposed research methodology made it possible to increase the efficiency and effectiveness of the means development for improving the tribotechnical properties of drilling lubricants.

Keywords:

Boundary layer thickness;
Well drilling;
Lubricants;
Friction mode;
Wear.

© 2021 «OilGasScientificResearchProject» Institute. All rights reserved.

Введение

Высокая энергоёмкость разрушения горных пород при бурении требует подведения значительных энергий к глубинному оборудованию, особенно к породоразрушающим инструментам, что сопровождается потерей их ресурса и в целом ростом материальных затрат на строительство скважин. Спецификой буровой технологии является использование в качестве смазочных материалов, наряду с пластичными смазками и маслами, промывочных жидкостей на водной и неводной основе. Высокие показатели смазочно-охлаждающих свойств указанных жидкостей необходимы для породоразрушающих инструментов, забойных двигателей, элементов компоновок бурильных колонн, взаимодействующих с горными породами стенок скважин и внутрен-

ними поверхностями стальных обсадных колонн.

Установлено теоретически и экспериментально существование сплошного смазочного слоя в тяжело нагруженных [1] парах трения, например в подшипниках качения и зубчатых передачах [3].

Причем, измеренные толщины граничных смазочных слоев при больших герцевских напряжениях (3–4 ГПа) высота неровностей поверхности трения составляет от [1] нескольких десятых долей до десятков микрометров.

Анализ исследований толщины граничных смазочных слоев (h) в трибосопряжениях [4] показывает, что уже при h больше (0.1÷0.4) мкм граничный режим трения может перейти в гидродинамический, когда трение определяется вязкостью смазочного материала и интенсивность изнашивания пар трения резко снижается. Поэтому очень важными являются исследования, направленные на повышение несущей способности граничных слоев смазочных материалов.

*E-mail: ismakovrustem@gmail.com
<http://dx.doi.org/10.5510/OGP20210200502>

В случае наличия между поверхностями трения сплошного смазочного слоя исследование кинетики по измерению толщины его проводится аналитическими методами [1], разработанными на основе упруго-гидродинамической теории смазки [4].

Нами выполнены расчеты толщины граничного слоя для остаточного масла цилиндрическое 52 (Ц-52) и долотной пластичной смазки (ДПС) применительно к роликовому подшипнику шарошечного долота диаметром 215.9 мм для следующих условий [5]: интенсивность нагрузки на пару трения «цапфа-ролик» $P_u = 1 \times 10^5 \pm 6 \times 10^5$ Н/м; окружные скорости для цапфы и ролика, соответственно, $U'_c = 1.57$ м/с и $U'_p = 0.52$ м/с; кривизна поверхностей цапфы и ролика до деформации, соответственно $\lambda_c = 66.67$ м⁻¹ и $\lambda_p = 200.0$ м⁻¹; коэффициенты Пуассона $m_c = m_p = 0.3$ и модули упругости стали $E_c = E_p = 2.1 \times 10^5$ МПа.

Использованные в расчетах значения вязкости μ_0 и пьезокоэффициента вязкости n_μ приведены в таблице 1.

Смазочный материал	Показатели	Температура, °С			
		20	50	100	150
Масло Ц-52	μ_{0r} Н · с/м ²	0.650	0.440	0.027	0.009
	$n_\mu \cdot 10^7$, м ² /Н	0.442	0.324	0.203	0.155
Смазка ДПС*	μ_{0r} Н · с/м ²	14.480	1.330	0.110	0.028
	$n_\mu \cdot 10^7$, м ² /Н	0.476	0.372	0.264	0.205

*смазка ДПС - пластичная смазка на кальциевом загустителе, выходные параметры которого следующие: температура каплепадения (99–112) °С, содержит (21–23)% графита и (2.5–3.5)% дисульфида молибдена; температура применения не более 80 °С [5].

Расчет толщины граничного слоя проведен по формулам Д.С.Коднира, А.И.Грубина, И.Д. Ратнера, А.И.Петрусевича [1], полученным указанными авторами для следующих условий:

1. режим трения изотермический и установившийся;
2. задача упруго-гидродинамического контакта решается для двух цилиндрических поверхностей (диск-ролик);
3. зазор между цилиндрическими поверхностями до деформации описывается квадратичной параболой;
4. контактирующие цилиндрические поверхности абсолютно гладкие;
5. температура смазочных материалов изменяется от 20 до 150 °С.

Проанализировав результаты расчетов, получили, что на всем рассматриваемом нами интервале изменения заданных рабочих параметров наименьшая толщина [5] граничного

слоя, то есть находим наиболее неблагоприятные условия фрикционного контакта из формулы А.И.Петрусевича:

$$h = \frac{30.63 \cdot [\mu_0 \cdot (U'_c + U'_p)]^{0.67} \cdot n_\mu^{0.5}}{P_u^{0.17} \cdot E^{0.17} \cdot (\lambda_c + \lambda_p)^{0.42}}, \quad (1)$$

где $E = \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{1}{E_c} + \frac{1}{E_p} \right)$ – приведенный модуль упру-

гости стали контактирующих поверхностей; h – толщина граничного слоя.

Результаты расчета h при объемной температуре смазочных материалов 100 °С и различной интенсивности нагрузки приведены в таблице 2.

Смазочный материал	Толщина граничного слоя, мкм при интенсивности нагрузки, Н/мм					
	100	200	300	400	500	600
Масло Ц-52	0.152	0.136	0.126	0.120	0.116	0.112
Смазка ДПС*	0.438	0.396	0.352	0.348	0.334	0.326

Существенное влияние на изменение толщины граничного смазочного слоя оказывает объемная температура смазочного материала. Выполненные расчеты изменения толщины h при интенсивности нагрузки на пару трения 400 Н/мм с изменением объемной температуры масла Ц-52 и долотной смазки ДПС в интервале (20–150) °С показали, что при температуре составляющей от 20 до 77 °С толщина (h) будет уменьшаться примерно в 10 раз, далее при дальнейшем возрастании температуры в интервале 117–150 °С толщина (h) граничного слоя уменьшается примерно в 2–2.5 раза.

Полученные выше результаты расчета толщины h получены для смазочных материалов, относящихся к ньютоновским жидкостям [5]. Однако высоковязкие, пластичные смазки проявляют неньютоновские свойства. В работе приведены формулы с учетом неньютоновских свойств [1] смазочных материалов. Выполненные расчеты толщины граничных слоев с учетом неньютоновских свойств смазочных материалов показали, что при температуре 20 °С толщина слоя увеличивается на 24%, а при температуре 50 °С – уменьшается почти в 4 раза.

Следует уточнить, что все вышеприведенные результаты аналитических исследований получены для абсолютно гладких поверхностей, не учитывая их шероховатость. Для определения влияния шероховатости на состояние смазочного слоя [1] ввели понятие удельной толщины смазочного слоя $h_{y\partial}$, определяемой по формуле [1]:

$$h_{y\partial} = \frac{h}{\sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2}} \quad (2)$$

где σ_1, σ_2 – среднеквадратичные отклонения

амплитуд шероховатости для 1-ой и 2-ой контактирующих поверхностей [1].

Выполненные аналитические и экспериментальные исследования применительно к рассматриваемой задаче показали, что при температуре смазочных материалов 100 °С и при нагрузке 600 Н/мм удельная толщина слоя находится в пределах 1–1.5, при повышении температуры будет меньше единицы [1], что указывает на переход от смешанного режима трения к граничному.

Таким образом, толщина граничного слоя является весьма чувствительной триботехнической характеристикой смазочных материалов, связанной с состоянием процесса трения и смазки, она может существенно влиять на работоспособность и долговечность глубинного оборудования при бурении скважин. В этой связи важной научно-практической задачей является разработка методов измерения толщины граничных слоев буровых смазочных материалов и их совершенствование на основе постановки соответствующих экспериментальных исследований.

Выполнено экспериментальное изучение толщин граничных слоев различных смазочных материалов с использованием усовершенствованного на кафедре бурения УГНТУ прибора, составляющего основу известной методики «Стопа» [6]. Сущность этой методики заключается в измерении суммарной высоты бочкообразных роликов предварительно сухих, а затем смазанных исследуемыми маслами, смазками, смазочными добавками или ПАВ. Погрешность прибора «Стопа» не превышает 4%. Стабильные значения толщин граничных слоев получаются при средней сжимающей (осевой) нагрузке 80 Н.

В качестве объектов испытаний использованы:

1. пластичные смазки Р-416, Русма Р-4, Графитол;
2. масло цилиндрическое Ц-52;
3. смазочные добавки для буровых растворов БКР-5[7], BDF, Megamul;
4. поверхностно-активные вещества (ПАВ) неонол-10, ЧАС-М, лигносульфонат.

Смазка Р-416 – предназначена для резьбовых соединений бурового глубинного оборудования. В качестве основного работающего наполнителя смазка содержит свинцовый порошок.

Резьбовая смазка Русма Р-4 – для обсадных, насосно-компрессорных и бурильных труб, содержит порошки цинка, меди, графита и пакет присадок противозадирных и антикоррозионных.

Графитол – для высокотемпературных узлов трения, в т.ч. подшипников качения и скольжения, содержит аэросил и порошкообразный графит.

Масло цилиндрическое Ц-52 – для паровых машин, редукторов, подшипников, вырабатывается на основе остаточного масла селективной и серно-кислотной очистки.

Смазочные добавки БКР-5, BDE, Megamul – для буровых растворов при бурении глубоких скважин.

ПАВ: неонол-10 – неионогенное; ЧАС-М – катионактивное; лигносульфонат – анионактивное.

Толщина граничного слоя h определяется по формуле:

$$h = (H_{см} - H_{сух}) / (n + 1) \cdot 2 \text{ мкм} \quad (3)$$

где $H_{см}$, $H_{сух}$ – суммарная высота смазанных ($H_{см}$) и сухих ($H_{сух}$) роликов, мкм;

n – количество роликов ($n = 20$);

h – среднее значение из трех измерений при нагрузках 60, 80 и 100 Н.

Результаты экспериментального определения толщины граничных слоев [5] приведены в таблице 3.

Смазочный материал	Толщина граничного слоя, мкм	Микротвердость H_{μ} , МПа	K_i	$H_{\mu, \text{пр}}$, МПа	$\Delta H_{\mu, \text{пр}}$, %
Сухой ролик	0	6265	6754	0.93	0
Р-416	33.76	8778	8858	0.99	+6.45
Ц-52	3.52	7402	7423	1.00	+7.53
Русма Р-4	5.98	8301	8399	0.99	+6.45
Графитол	3.87	7518	7832	0.96	+3.22
БКР-5	2.12	7382	7735	0.95	+2.15
BDF	1.05	7217	7718	0.94	+1.10
MEGAMUL	2.12	7299	7602	0.96	+3.22
Неонол -10	1.32	6572	7497	0.88	-5.38
ЧАС-М CHAS-M	1.05	6468	7876	0.82	-11.83
Лигно-сульфанат	1.02	6365	7334	0.87	-6.45

В таблице 3 приведены также результаты экспериментального изучения влияния исследуемых смазочных материалов на микротвердость роликов, используемых в приборе «Стопа». Микротвердость H_{μ} определялась на приборе ПМТ-3М по стандартной методике [6] при нагрузке на алмазный наконечник (пирамиду) 4.9 Н до и после нанесения смазочного материала на торцовую плоскость ролика.

Для приведения экспериментальных данных, полученных методами «Стопа» и микротвердости к одинаковым условиям по удельной нагрузке, определяется коэффициент пересчета (согласования) K_i по формуле:

$$K_i = \frac{P_{уд.i}}{P_{ср.уд}} \quad (4)$$

где $P_{уд.i}$ и $P_{ср.уд}$ – удельные нагрузки для смазочных материалов по микротвердомеру и методу «Стопа», соответственно.

Приведенная микротвердость $H_{\mu, \text{пр}}$ определяется по формуле:

$$H_{\mu, пр} = \frac{H_{\mu}}{K_i} \quad (5)$$

Из таблицы 3 видно, что все исследуемые смазочные материалы создают граничные слои на поверхности стали, толщина которых тесно связана с видом и удержанием наполнителя и присадок. Поскольку измерения проводятся в статических условиях, полученные в опытах значения толщин граничных слоев достаточно большие, особенно у резбовой смазки Р-416, содержащей большое количество свинцового порошка. В целом исследуемые смазочные материалы по убыванию толщины граничных слоев расположились в ряд: пластичные смазки и масло Ц-52; смазочные добавки; ПАВ. Сравнение смазочных материалов по воздействию на приведенную микротвердость поверхностных слоев стали показывает, что пластичные смазки, масло Ц-52 и смазочные добавки повышают $H_{\mu, пр}$, а ПАВ – снижают $H_{\mu, пр}$. Последнее может быть связано с проявлением эффекта Ребиндера, т.е. понижением адсорбционной прочности твердых тел под воздействием ПАВ.

Защитная роль граничных слоев проявляется и при испытании смазочных материалов на износ. В таблице 4 приведены результаты опытов на стандартной четырех-шариковой машине трения ЧМТ-1 (ГОСТ 9490-75).

Таблица 1
Результаты опытов на четырех-шариковой машине трения (ЧМТ-1)

Смазочный материал	Диаметр пятна износа, мм при нагрузке, Н		
	1568	1960	2450
Р-416	0.50	0.55	0.60
Русма Р-4	0.90	1.30	2.00
Графитол	1.40	1.90	2.30
Масло Ц-52	Сваривание	-	-

Видно, что пластичные смазки, в отличие от масла Ц-52, предупредили сваривание шариков, а по возрастанию противоизносных свойств расположились в ряд: Графитол, Русма Р-4, Р-416.

Заключение

Выполненные исследования кинетики изменения толщины граничных слоев, используемых в буровой технологии смазочных материалов и ПАВ показали, что данная методология может эффективно применяться для углубленного поиска более совершенных составов средств улучшения работоспособности и долговечности узлов трения глубинного оборудования при строительстве сложно-профильных скважин. Энергетический подход, заложенный в основу аналитического аппарата, позволяет проследить за кинетикой изменения несущей способности граничных слоев смазочных материалов и смазочно-охлаждающих жидкостей с ПАВ в широкой области изменения параметров напряженности работы пар трения. При этом важными и перспективными являются также экспериментальные исследования, направленные на определение показателей как объемных, так и поверхностных свойств смазок и смазочно-охлаждающих жидкостей в различных термобарических условиях.

Литература

1. Конесев, Г. В., Мавлютов, М. Р., Спивак, А. И., Мудюков, Р. А. (1993). Смазочное действие сред в буровой технологии. *Производственно-практическое издание. Москва: Недра.*
2. Янгиров, Ф. Н., Ибатуллин, Д. Ф., Конесев, В. Г. и др. (2017). Устройство для измерения толщины граничных слоев смазочных материалов. *Патент РФ 2630545.*
3. Заславский, Ю. С. (1991). Трибология смазочных материалов. *Монография. Москва: Химия.*
4. Захарченко, А. В. (2012). Толщина смазочного слоя в трибосопряжениях как характеристика параметров процесса. *Вестник НТУ «ХПИ», 36, 61-69.*
5. Файзуллин, М. М., Нигматзянов, Д. Ф., Янгиров, Ф. Н., Дихтярь, Т. Д. (2017). Несущая способность граничных слоев смазочных материалов /в сборнике «Современные технологии в нефтегазовом деле». *Уфа: УГНТУ.*
6. Попов, А. Н. (2018). Определение микротвердости минералов и металлов: учебно-методическое пособие. *Уфа: Изд-во УГНТУ.*

References

1. Konesev, G. V., Mavlyutov, M. R., Spivak, A. I., Mulyukov, R. A. (1993). Lubricating action of media in drilling technology. *Moscow: Nedra.*
2. Yangirov, F. N., Ibatullin, D. F., Konesev, V. G., et al. (2017). Appliance for lubricating media boundary layers thickness measurement. *RU Patent 2630545.*
3. Zaslavski, Yu. S. (1991). Tribology of lubricants. *Moscow: Chemistry.*
4. Zaharchenko, A. V. (2012). Layer thickness in tribological conjugationas process. *Vestnik NTU «KHPI», 36, 61-69.*
5. Fayzullin, M. M., Nigmatzyanov, D. F., Yangirov, F. N., Dihtyar, T. D. (2017). Capacity of border layers of lubricants /in «Modern technologies in the oil and gas industry». *Ufa: USPTU.*
6. Popov, A. N. (2018). Determination of microhardness of minerals and metals. *Ufa: USPTU.*

7. Греков, А. Н., Конесев, Г. В., Докичев, В. А. и др. (2006). Смазочная добавка для буровых растворов на водной основе. *Патент РФ* 2269562.
8. Исмаков, Р. А., Конесев, В. Г., Мамаева, О. Г. и др. (2011). Исследование смазочных добавок к буровым промысловым жидкостям. *История науки и техники*, 12, 152-156.
9. Рахматуллина, Г. В., Исмаков, Р. А., Сакаев, Р. М. и др. (2013). Изучение толщины граничных смазочных слоев буровых промысловых сред. *Научно-технический вестник Поволжья*, 5, 275-281.
10. Фролов, А. М., Конесев, В. Г., Исмаков, Р. А., Матюшин, В. П. (2015). Смазочная добавка к буровым промысловым жидкостям. *Патент РФ* 2554972.
11. Фролов, А. М., Яхин, А. Р., Янгиров, Ф. Н. и др. (2019). Смазочный реагент к буровым промысловым растворам. *Патент РФ* 2677729.
12. Конесев, В. Г., Янгиров, Ф. Н., Дихтярь, Т. Д. и др. (2016). Буровой комплексный реагент для промысловых жидкостей на водной основе. *Патент РФ* 2590254.
13. Янгиров, Ф. Н., Яхин, А. Р., Мустафин, Т. С., Дихтярь, Т. Д. (2018). Обоснование выбора смазочных материалов для буровой технологии. *Известия ТПУ. Инжиниринг георесурсов*, 239(1), 51-58.
14. Конесев, В. Г. (2012). Совершенствование качества технологических жидкостей для первичного вскрытия продуктивных пластов и глушения скважин. *Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. Уфа: УГНТУ.*
15. Haile, J. M. (1997). *Molecular dynamics simulation: elementary methods. USA: A Wiley-Interscience Publication.*
16. Growcock, F. B., Frederick, T. P., Reece, A. R., et al. (1999, February). Nov-el lubricants for water-based drilling fluids. SPE-50710-MS. In: *SPE International Symposium on Oilfield Chemistry, Houston, Texas. Society of Petroleum Engineers*
17. Foxenberg, W. E., Ali, S. A., Long, T. P., Vian, J. (2008, February). Field experience shows that new lubricant reduces friction and improves formation compatibility and environmental impact. SPE-112483-MS. In: *SPE International Symposium and Exhibition on Formation Damage Control, Lafayette, Louisiana, USA. Society of Petroleum Engineers*
18. Knox, D., Jiang, P. (2005, February). Drilling further with water based fluids – selecting the right lubricant. SPE-92002-MS. In: *SPE International Symposium on Oilfield Chemistry, The Woodlands, Texas. Society of Petroleum Engineers*
19. Sonmez, A., Kok, M. V., Ozel, R. (2013). Performance analysis of drilling fluid liquid lubricants. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 108, 64–73.
20. Maidla, E. E., Wojtanowicz, A. K. (1990). Laboratory study of borehole friction factor with a dynamic filtration apparatus. *SPE Drilling Engineering*, 5(3), 247–255.
21. Franklin, S. E., Beuger, J. (2007). A comparison of the tribological behaviour of several wear-resistant coatings. *Surface and Coatings Technology*, 54(2), 459-465.
22. Holmberg, K., Ronkainen, H., Matthew, A. (2000). Tribology of thin coatings. *Ceramics International*, 26, 787-795.
23. Holmberg, K., Ronkainen, H., Matthew, A. (2003). Thin films in tribology. *Vol.9. Amsterdam: Elsevier.*
24. Jackson, R. L., Green, I. (2001). Study of the tribological behaviour of thrust bearings. *Tribology Transactions*, 44(3), 504-508.
25. Sedlaček, M., Podgornik, B., Vižintin, J. (2009). Influence of surface preparation on roughness parameters, friction and wear. *Wear*, 266, 482-487.
7. Grekov, A. N., Konesev, G. V., Dokichev, V. A., et al. (2006). Lubricating additive for water-based drilling fluids. *RU Patent* 2269562.
8. Ismakov, R. A., Konesev, G. V., Mamaeva, O. G., et al. (2011). Investigation of lubricant additives for drilling fluids. *History of Science and Technology*, 12, 152-156.
9. Rahmatullin, G. V., Ismakov, R. A., Sakaev, R. M., et al. (2013). Studying of the thickness of boundary lubricant layers chisel flushing environments. *Scientific and Technical Bulletin of the Volga Region*, 5, 275-281.
10. Frolov, A. M., Konesev, V. G., Ismakov, R. A., Matjushin, V. P. (2015). Lubricating additive for drilling mud. *RU Patent* 2554972.
11. Frolov, A. M., Yakhin, A. R., Yangirov, F. N., et al. (2019). Lubricant reagent for drilling flushing solutions. *RU Patent* 2677729.
12. Konesev V.G., Yangirov F.N., Dikhtyar, T. D., et al. (2016). Drilling complex reagent for water-based flushing fluids. *RU Patent* 2590254.
13. Yangirov, F. N., Yahin, A. R., Mustafin, T. S., Dikhtyar, T. D. (2018). Substantiation of lubricant selection for drilling technology. *Bulletin of the TPU. Geo Assets Engineering*, 239(1), 51-58.
14. Konesev, V. G. (2012). Improving the quality of process fluids for the initial opening of productive formations and well killing off well. *PhD dissertation. Ufa: USPTU.*
15. Haile, J. M. (1997). *Molecular dynamics simulation: elementary methods. USA: A Wiley-Interscience Publication.*
16. Growcock, F. B., Frederick, T. P., Reece, A. R., et al. (1999, February). Nov-el lubricants for water-based drilling fluids. SPE-50710-MS. In: *SPE International Symposium on Oilfield Chemistry, Houston, Texas. Society of Petroleum Engineers*
17. Foxenberg, W. E., Ali, S. A., Long, T. P., Vian, J. (2008, February). Field experience shows that new lubricant reduces friction and improves formation compatibility and environmental impact. SPE-112483-MS. In: *SPE International Symposium and Exhibition on Formation Damage Control, Lafayette, Louisiana, USA. Society of Petroleum Engineers*
18. Knox, D., Jiang, P. (2005, February). Drilling further with water based fluids – selecting the right lubricant. SPE-92002-MS. In: *SPE International Symposium on Oilfield Chemistry, The Woodlands, Texas. Society of Petroleum Engineers*
19. Sonmez, A., Kok, M. V., Ozel, R. (2013). Performance analysis of drilling fluid liquid lubricants. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 108, 64–73.
20. Maidla, E. E., Wojtanowicz, A. K. (1990). Laboratory study of borehole friction factor with a dynamic filtration apparatus. *SPE Drilling Engineering*, 5(3), 247–255.
21. Franklin, S. E., Beuger, J. (2007). A comparison of the tribological behaviour of several wear-resistant coatings. *Surface and Coatings Technology*, 54(2), 459-465.
22. Holmberg, K., Ronkainen, H., Matthew, A. (2000). Tribology of thin coatings. *Ceramics International*, 26, 787-795.
23. Holmberg, K., Ronkainen, H., Matthew, A. (2003). Thin films in tribology. *Vol.9. Amsterdam: Elsevier.*
24. Jackson, R. L., Green, I. (2001). Study of the tribological behaviour of thrust bearings. *Tribology Transactions*, 44(3), 504-508.
25. Sedlaček, M., Podgornik, B., Vižintin, J. (2009). Influence of surface preparation on roughness parameters, friction and wear. *Wear*, 266, 482-487.

Исследование кинетики изменения толщины граничных слоев смазочных материалов применительно к буровой технологии

*Р.А.Исмаков¹, В.Г.Конесев², Ф.Н.Янгиров¹,
Г.Л.Гаймалетдинова¹, А.Р.Яхин¹*

¹Уфимский государственный нефтяной технический университет,
Уфа, Россия; ²ООО «Газпромнефть - НТЦ», Санкт-Петербург, Россия

Реферат

Улучшение эксплуатационных свойств смазочных материалов увеличивает срок службы механизмов, что положительно влияет на показатели технико-экономической эффективности и безопасность оборудования. Поэтому большое внимание в трибологии уделяется анализу состояния узлов трения в технике и оценки их ресурсных характеристик, что позволяет увеличить срок их эксплуатации. Цель исследований, приведенных в статье, заключалась в изучении общих положений о смазке и смазочных материалах, а также особенностей образования граничных слоев на поверхностях трения и наблюдаемых при этом закономерностях. Выполнены расчеты толщин граничных слоев с использованием смазочных реагентов при различной энергетической нагрузке пары трения применительно к роликовому подшипнику шарошечного долота в среде масла цилиндрическое 52 и долотной пластичной смазки. Предложенная методология исследований позволила повысить результативность и эффективность по разработке средств улучшения триботехнических свойств буровых смазочных материалов.

Ключевые слова: толщина граничного слоя; бурение скважин; смазочные материалы; режим трения; изнашивание.

Qazma texnologiyasına tətbiq olunan sürtkü materiallarının sərhəd qatlarının qalınlığındakı dəyişikliklərin kinetikasının tədqiqi

*R.A.İsmakov¹, V.Q.Konesev², F.N.Yangirov¹,
Q.L.Qaymaletdinova¹, A.R.Yaxin¹*

¹Ufa Dövlət Neft Texniki Universiteti, Ufa, Rusiya;

²Qazpromneft Elmi Texniki Mərkəzi MMC, Sankt-Peterburq, Rusiya

Xülasə

Sürtkü yağlarının istismar xüsusiyyətlərinin yaxşılaşdırılması mexanizmlərin istismar müddətini artırır, bu isə öz növbəsində avadanlıqların texniki-iqtisadi effektivlik və təhlükəsizlik göstəricilərinə müsbət təsir göstərir. Buna görə də tribologiyada texnikada sürtünmə düyünlərinin vəziyyətinin analizinə və onların istismar müddətini artırmağa imkan verən resurs xassələrinin qiymətləndirilməsinə böyük diqqət yetirilir. Məqalədə verilmiş tədqiqatın məqsədi sürtkü yağları və sürtkü materialları haqqında ümumi qaydaların, həmçinin sürtünmə səthlərində sərhəd qatlarının yaranma xüsusiyyətlərinin və bu zaman müşahidə olunan qanunauyğunluqların öyrənilməsindən ibarətdir. Silindr 52 yağı və balta üçün plastik sürtkü mühitində şəroşkalı baltanın diyircəkli podşipniki üçün uyğun olan sürtünmə cütünün müxtəlif energetik yüklənməsi zamanı sürtkü reaktivlərindən istifadə etməklə sərhəd qatlarının qalınlığının hesablanması aparılmışdır. Təklif olunan metodologiya qazma sürtkü materiallarının tribotexnik xassələrini yaxşılaşdıran vasitələrin işlənməsi üzrə səmərəliliyi və effektivliyi artırmağa imkan vermişdir.

Açar sözlər: sərhəd qatının qalınlığı; quyuların qazılması; sürtkü materialları; sürtünmə rejimi; yeyilmə.