

ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ ПАРЫ «ЭЛАСТОМЕР - МЕТАЛЛ» СИЛОВОЙ СЕКЦИИ ВИНТОВОГО ЗАБОЙНОГО ДВИГАТЕЛЯ

¹Исмаков Р.А., ²Закиров Н.Н., ¹Аль-Сухили М.Х., ²Торопов Е.С.

¹ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет», Уфа, Россия (450080, г. Уфа, ул. Менделеева, 193/1), e-mail: mohammed_15b@hotmail.com

²ФГБОУ ВО «Тюменский государственный нефтегазовый университет», Тюмень, Россия (625000, г. Тюмень, ул. Володарского, 38), e-mail: zakirov.nikolay@yandex.ru

Улучшение стабильности работы, повышение срока службы рабочих органов (РО) винтовых забойных двигателей (ВЗД), снижение аварийности их эксплуатации является актуальной задачей. По данным буровых компаний ООО «Газпром бурение» и КСА Deutag, за год происходят десятки аварий с ВЗД, которые приводят к длительным остановкам, ловильным и восстановительным работам на скважинах. Из практики применения ВЗД установлено, что около 50% всех отказов связано с износом РО, представляющих собой пару трения «эластомер - металл». Межремонтный период работы двигателей в зависимости от типоразмера и условий эксплуатации составляет от 90 до 250 ч. Решение комплексной научно-технической задачи повышения ресурса работы ВЗД в целом предполагает проведение значительного объема экспериментальных исследований с целью изучения и получения объективной оценки влияния различных факторов в первую очередь на износостойкость РО. Для изучения триботехнических аспектов работы системы «эластомер – промывочная жидкость – металл», применительно к взаимодействию пары трения «статор – ротор» в ВЗД, нами была усовершенствована стандартная установка ИИ-5018. В статье обсуждается проблема выбора методики лабораторных исследований, которая должна соответствовать нормам действующих стандартов на проведение триботехнических испытаний по определению физико-механических свойств эластомеров. Приведены результаты комплексных исследований процесса трения и изнашивания пары трения «эластомер - металл».

Ключевые слова: винтовой забойный двигатель, пара трения «резина - металл», эластомер, машина трения ИИ-5018, изнашивание, триботехнические свойства.

RESEARCH OF WORK OF THE ELASTOMER-METAL COUPLES ON THE POWER SECTION OF DOWNHOLE DRILLING MOTORS

¹Ismakov R.A., ²Zakirov N.N., ¹Al-Suhili M.H., ²Toropov E.S.

¹FGBO of higher education " Ufa State Petroleum Technological University, Ufa, Russian (450080, Ufa,, Mendeleeva street, 193/1), e-mail: mohammed_15b@hotmail.com

²FGBO of higher education "Tyumen State Oil and Gas University, Tyumen, Russia (625000, Tyumen, Volodarskogo street, 38), e-mail: zakirov.nikolay@yandex.ru

In the current drilling technology today pointed out the problems associated with the instability of workdo wnhole drilling motors, they stop, short service life of working devices (WD) and accidents (lapels, destruction elements DDM) layout of the drill string (DS). In particular, the timing of the engines, depending on the size and operating conditions, ranging from 90 to 235 hours. Failures DDM according to drilling companies "Gazprom drilling" and "CSA Deutag» - from 5 to 12 per year; which leads to long-term recovery efforts in the well, or the complete elimination of the latter. From the practice of using found that about 50% of all failures associated with DDM wear working devices are a pair of friction rubber-metal (stainless steel rotor - rubbersteel-stator).Solving complex scientific and engineering problems calls for a considerable amount of experimental research and testing in order to study and obtain an objective assessment of the impact of various factors on the change in the studied parameters. In this regard, we install II-5018 was reconstructed to study the tribological properties of the "elastomer - rinsing liquid - the metal" as applied to the interaction of the friction pair "stator - rotor" in the PDM. To this end, as close to reality friction pair "rubber - metal". The article discusses the problem of choosing the methods of laboratory tests, which must meet the requirements and standards applicable standards and regulations to carry out standardized tribological tests and studies to determine the physical and mechanical properties of rubber.The results of complex investigations in the field of studying the processes of friction and wear of friction pairs elastomer-metal with the purpose of improvement of a technique of study of tribological aspects of the power section of screw downhole motors.

Keywords: Donwhole drilling motors, rubber-metal, elastomer, II-5018,frictionanddeterioration, tribologicalaspects.

Анализ тенденций развития техники для строительства нефтяных и газовых скважин показывает, что в настоящее время одним из основных приводов породоразрушающих инструментов являются винтовые забойные двигатели (ВЗД) [3]. Широкое применение ВЗД объясняется совершенствованием конструкций долот, имеющих повышенную моментоемкость, развитием технологии бурения, а также важными эксплуатационными преимуществами этих двигателей:

- оптимальные кинематические характеристики, обеспечивающие эффективную отработку долот;
- минимальные осевые габариты, позволяющие использовать ВЗД при бурении наклонно-направленных и горизонтальных скважин, боковых стволов;
- простота сборки и ремонта.

Двигатель состоит из рабочей пары: ротора и статора, шпиндельной секции, соединительных и переходных узлов и деталей. Ротор и обрезиненный статор многозаходных ВЗД являются наиболее ответственными узлами двигателя, поскольку от качества их изготовления зависят работоспособность и надежность машин. Ротор ВЗД представляет собой многозаходный винт с нарезанным специальным профилем и большим шагом винтовой линии. Статор конструктивно представляет собой корпус в виде металлической трубы с привулканизированной к ней изнутри эластомерной обкладкой с внутренней винтовой поверхностью. В процессе работы обкладка статора воспринимает циклически изменяющиеся нагрузки, реактивный момент и радиальные силы, что обуславливает повышенные требования к точности расчета, проектирования и изготовления статора [3].

Но при всех своих достоинствах винтовой забойный двигатель имеет существенный недостаток – быстрый износ двигательной секции.

Для оценки напряженно-деформированного состояния (НДС) статора в процессе эксплуатации упомянутого выше двигателя с кинематическим отношением 9:10, в качестве инструмента анализа был выбран программный комплекс ANSYS, реализующий метод конечных элементов [5].

Трехмерная геометрическая модель статора была построена в пакете «Компас». Профиль статора при нулевом смещении исходного контура рейки очерчивался эквидистантой укороченной гипоциклоиды [3]. После импорта геометрической модели в пакет ANSYS была произведена ее дискретизация на конечные элементы типа SOLID92. Затем были приложены следующие граничные условия: на внешних поверхностях, привулканизированных к металлической трубе, указана жесткая заделка, на торцевых

поверхностях заданы условия симметрии, в качестве нагрузки приложено давление 7 МПа на внутренние поверхности статора.

На рис. 1 графически изображены распределения напряжений в местах контакта по внутренней поверхности статора. Как видно из этого рисунка, максимальное контактное давление приходится на место контакта впадины статора с зубом ротора.

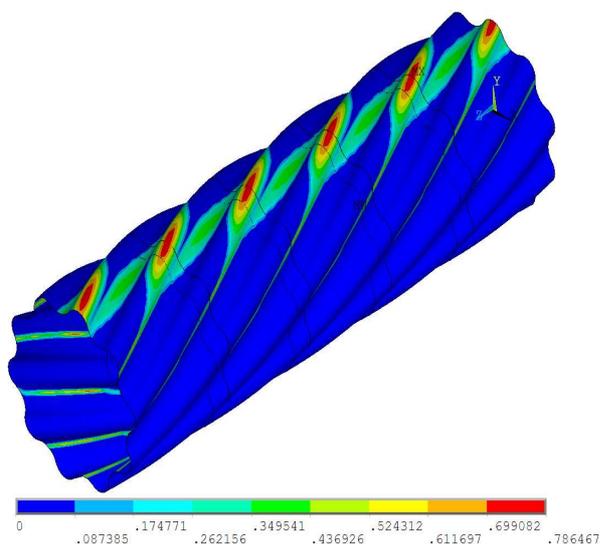


Рис. 1. Давление в местах контакта пары «ротор – статор».

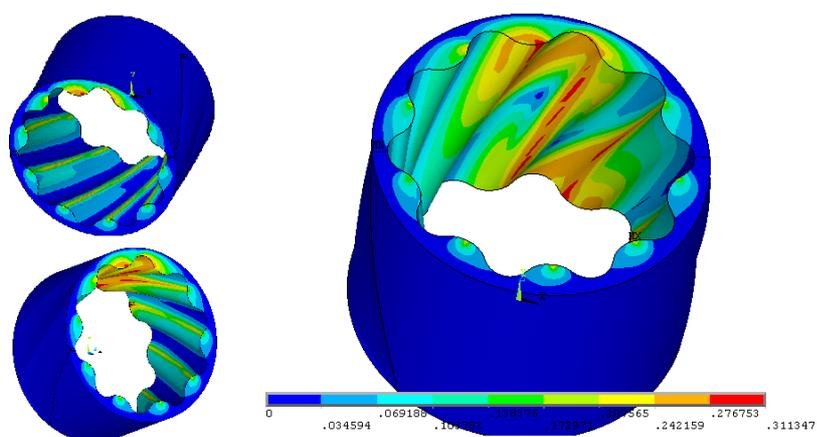


Рис. 2. Распределение суммарных перемещений в статоре.

Максимальное значение контактного давления составляет 0,78 МПа. Величины деформации внутренней поверхности представлены на рис. 2. Максимальное значение перемещения составляет 0,31 мм, что примерно соответствует половине заложенного в моделях диаметрального начального натяга в 0,6 мм.

Как было показано выше, резинометаллический статор является элементом, лимитирующим работоспособность двигателя. Одним из актуальных направлений решения

задачи повышения его эффективности и технологичности является подбор оптимальных буровых промывочных жидкостей, смазочно-охлаждающих жидкостей (СОЖ), а также смазочных добавок к последним, обеспечивающих увеличение ресурса работы статора.

Исследования в рамках данной работы были проведены на основе имеющихся образцов статора от двигателей: ДРУ1-98РС производства Пермского филиала ВНИИБТ и 7LZ-172 производства КНР. Весь комплекс работ по изучению влияния различных реагентов СОЖ применительно к паре трения «эластомер – металл» был проведен на кафедре «Бурение нефтяных и газовых скважин» УГНТУ.

Экспериментальные исследования проводились на стандартной машине трения типа ИИ-5018 с модифицированным узлом испытаний [1]. Сущность метода испытаний состоит в истирании испытываемого резинового образца по поверхности стального ролика в соответствующей среде. Поскольку реальные условия контактного взаимодействия ВЗД в паре трения «ротор - статор» часто отличаются от условий и режима проведения лабораторных испытаний, нами также были проведены качественный анализ погрешностей результатов эксперимента и расчет критериев подобия упомянутой установки [2].

Скорость изнашивания эластомера «статора» в общем виде представляет собой следующую зависимость:

$$\alpha = f(P_{уд}, \eta, v_c, q_c, HB, A_{ж}, R, l), \quad (1)$$

где $P_{уд}$ – удельная нагрузка;

η – частота взаимодействия;

v_c – скорость скольжения;

q_c – удельный расход жидкости;

HB – твёрдость стального диска;

$A_{ж}$ – качество СОЖ;

R – радиус кривизны поверхности трения;

l – геометрические характеристики пары трения.

Коэффициент трения и скорость изнашивания эластомера определяются по формулам:

$$\phi_c = \frac{M_{тр}}{R \cdot P}, \quad (2)$$

где $M_{тр}$ – момент трения, Н·м;

R – радиус стального диска, м;

P – нагрузка на вкладыш (эластомер), Н.

$$a = \frac{\Delta m}{t \cdot \rho \cdot S}, \quad (3)$$

где Δm – массовый износ вкладыша, мг;

t – время опыта, мин;

ρ – плотность материал вкладыша, мг/мм³;

S – рабочая площадь контакта вкладыша, см².

$$\rho = \frac{m}{V}, \quad (4)$$

где V – объём образца, мм³; m – средний вес образца.

Исходя из предыдущей серии экспериментов [4] с различными видами СОЖ (буровыми промывочными жидкостями), удовлетворительные противоизносные и антифрикционные свойства показал полимер-глинистый раствор (ПГР). Его состав: вода, бентонит – 3,5%, мел – 14%, баразан – 0,05%, бактерицид – 0,1%, ПАЦ ВН – 0,2%, ФХЛС – 1%. Параметры: плотность 1100 кг/м³, показатель фильтрации (по ВМ-6) 5,0 см³/30 мин., условная вязкость (по СПВ-5) 60 сек. Добавки вводились постепенно, по 1% от общего объема раствора.

Из табл. 1 видно, что реагенты ФК2000 и Эклюб практически не оказывают влияния на скорость изнашивания образца, а реагенты БКР-7 и СМ-1 оказали более существенное и неоднозначное влияние на противоизносные свойства исходного раствора. При $R_{уд}$ менее 40÷55 Н/см² и больших удельных нагрузках эти реагенты снизили скорость износа: БКР-7 до 2,5 раз, а СМ-1 до 10 раз.

Полученные данные согласуются с известным явлением химического модифицирования поверхностей трения присадками, содержащими такие элементы, как сера, фосфор, цинк, барий и др. [4].

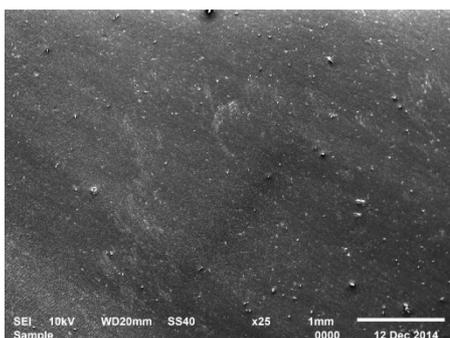
Таблица 1

Значения относительной скорости изнашивания пары трения «эластомер – металл» в различных средах (СОЖ)

№	СОЖ	Значения относительной скорости изнашивания при удельной нагрузке $R_{уд}$, Н/см ²							
		30		40		50		55	
		№1	№2	№1	№2	№1	№2	№1	№2
1	Вода	0,0176	0,022	0,021	0,026	0,024	0,031	0,027	0,033
2	ПГР № 1	0,007	0,013	0,008	0,015	0,009	0,017	0,010	0,020
3	ПГР № 1+1% СМ1	0,003	0,003	0,004	0,005	0,009	0,012	0,012	0,018

4	ПГР № 1+1% БКР7	0,0037	0,0037	0,0074	0,0083	0,0124	0,0166	0,0244	0,025
5	ПГР № 1+1% ФК2000	0,0055	0,0064	0,0112	0,0129	0,0223	0,025	0,0324	0,0351
6	ПГР № 1+1% эклюб	0,0074	0,0046	0,0148	0,0101	0,0277	0,0203	0,0370	0,0296
7	ПГР № 1+1% луброил	0,0120	0,0102	0,0194	0,0176	0,0333	0,0296	0,0416	0,0379

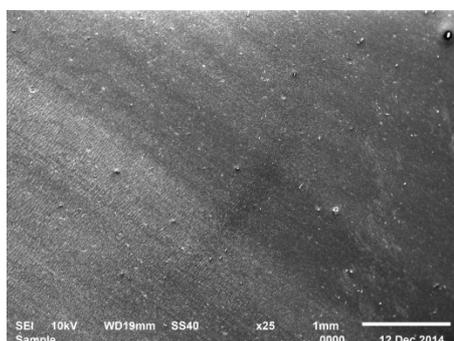
На рис. 3 представлены фотографии поверхностей образцов эластомеров после проведения испытаний при максимальных значениях первоначального натяга в паре трения.



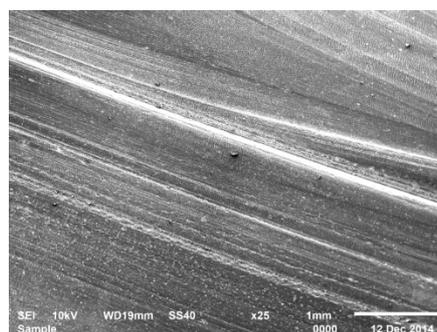
а) до



а) после



б) до



б) после

Рис. 3. Вид поверхности образцов эластомеров (x 25): а) 7LZ-172; б) ДРУ1-98 РС.

Анализируя топографию поверхностей образцов, можно сделать вывод о том, что в данном случае в паре трения реализуется усталостный механизм изнашивания. Об этом свидетельствует наличие характерных складок, перпендикулярных к направлению движения в процессе испытаний.

Такие складки возникают в результате многократного деформирования, обусловленного наличием сдвиговых напряжений в зоне контакта.

У образца резины б (ДРУ1-98РС) наблюдается сравнительно большее количество сильно выраженных усталостных складок, что характерно для случая возникновения больших контактных напряжений при проскальзывании.

Это может быть связано с тем, что резины на основе СКН реализуют более высокие значения коэффициента трения по металлу в сравнении с резинами на основе СКД.

Из представленных фотографий видно, что поверхность образцов в зоне контакта зашлифована и имеет низкие значения шероховатости по сравнению с первоначальной. Незначительные усталостные складки имеют очень размытый вид.

Результаты исследований соответствуют общепринятым представлениям о влиянии скорости скольжения на интенсивность изнашивания в парах трения «эластомер - металл» (диаграмма Герси-Штрибека) и подтверждаются работами ВНИИБТ по исследованию интенсивности износа в рабочих органах ВЗД [6].

В целом выполненные исследования доказывают, что высокие показатели противоизносных и антифрикционных свойств реагентов связаны с наличием в них таких функциональных групп, как гидроксильная, карбоксильная, простого и сложного эфиров, азотсодержащих и некоторых элементоорганических соединений. Однако соотношение в комплексном реагенте компонентов, содержащих указанные группы, существенно влияет на технологичность реагента, в т.ч. на его растворимость, эмульгируемость, пенообразование и пеногашение. Поскольку реагенты разрабатываются для технологических жидкостей на водной основе, то неизбежны процессы гидролиза и омыления определенных компонентов при взаимодействии реагента с водой и металлами, особенно в щелочной среде. Поэтому научный и практический интерес представляет задача установления зависимости эффективности различных целевых свойств реагентов от соотношения в них функциональных групп, особенно спиртовой и кислотной.

Согласно проведенным исследованиям напряженно-деформированного состояния статора в процессе его эксплуатации, установлено, что максимальное значение контактного давления составляет 0,78 МПа, а величина максимальных значений перемещения ротора составляет 0,31 мм, что примерно соответствует половине заложенного в моделях диаметрального начального натяга в 0,6 мм.

Реконструкция узла трения экспериментальной установки ИИ-5018, с учетом выявленных при моделировании параметров, позволила исследовать влияния СОЖ на работоспособность рабочих органов ВЗД. Модернизированная машина трения обеспечила имитацию физического подобия процесса изнашивания и трения пары «статор – ротор».

Рекомендуется использовать данную методику для совершенствования знаний о механике и свойствах эластомеров при взаимодействии с различными СОЖ.

Список литературы

1. Аль-Сухили М.Х., Исмаков Р.А. Разработка методики изучения механических свойств эластомеров и их проявление в буровой технологии // Нефтегазовое дело : электронный научный журнал. - 2014. - № 6. - С. 1-18. - URL: http://ogbus.ru/issues/6_2014/ogbus_6_2014_p1-18_Al-SuhiliMH_ru.pdf.
2. Аль-Сухили М.Х., Исмаков Р.А. Совершенствование методики изучения триботехнических аспектов работы силовой секции винтовых забойных двигателей // Территория нефтегаз : электронный научный журнал. - 2014. - № 8. - С. 12-16. - URL: <http://neftegas.info/tng/vypusk-8-2014-g/?filter=y&rubric=257>.
3. Буровые комплексы. Современные технологии и оборудование / коллектив авторов: под общей редакцией А.М. Гусмана и К.П. Порожского : научное издание. – Екатеринбург : УГГГА, 2002. – 592 с., с илл.
4. Виноградова И.Э. Противоизносные присадки к маслам. – М. : Химия, 1972. – 272 с.
5. Каплун А.Б., Морозов Е.М., Олферьева М.А. ANSYS в руках инженера : практическое руководство. - М. : Едиториал УРСС, 2003. - 272 с.
6. Рыбалов С.Л. Исследование фрикционных свойств резин в присутствии смазок в широком интервале температур, скоростей и нагрузок / под ред. С.Л. Рыбалов, В.С. Цыбук, Е.Б. Гридунова // Достижение науки и технологии в области резины. - М. : Химия, 1969. – С. 92-96.

Рецензенты:

Бастриков С.Н., д.т.н., профессор, СибНИИНП, г. Тюмень;

Мулявин С.Ф., д.т.н., профессор, СибНИИНП, г. Тюмень.