

УДК 621.891

Г. Б. Бурдо, Ю. А. Стрельников
ООО "Нефтегазгеофизика"
А. Н. Болотов

Тверской государственной технической университет

ИЗУЧЕНИЕ ТРЕНИЯ В УЗЛАХ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ПРИБОРОВ ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ СКВАЖИН

Выполнены эксперименты по определению удельной силы трения, ее параметров для фрикционных пар геофизической аппаратуры на специальной установке при действии гидростатического давления до 140 МПа. Установлено, что при действии гидростатического давления в различных жидкостях происходит уменьшение молекулярной составляющей коэффициента трения до двух раз.

Ключевые слова: геофизические приборы, трение, молекулярная составляющая, высокие гидростатическое давление и температура.

Актуальность проводимых исследований и их цель

За последние годы в топливдобывающей промышленности страны взят курс на преимущественное развитие нефтяной и газовой индустрии. Быстрый рост добычи нефти достигается как за счет дальнейшей разработки открытых месторождений, применения прогрессивных методов добычи, так и за счет ввода в эксплуатацию новых месторождений, разработка которых требует увеличения глубин бурения, разведки глубокозалегающих горизонтов.

Исследование сверхглубоких скважин требует решения целого ряда сложнейших научно-технических вопросов. Главный из них – создание надежной геофизической аппаратуры и приборов (зондов), которые будут работать в условиях воздействия высокой температуры (до 250 °С) и гидростатического давления (до 140 МПа и выше).

Рассмотрим один из приборов – скважинный каверномер-профилемер 4СКП-Т-76-175/140, выпускаемый ООО "Нефтегазгеофизика". Прибор предназначен для исследования геометрии ствола скважины по результатам измерения четырех независимых радиусов в двух взаимно перпендикулярных плоскостях. Электромеханический блок прибора (рис. 1) раскрывает и закрывает рычаги по команде с регистратора.

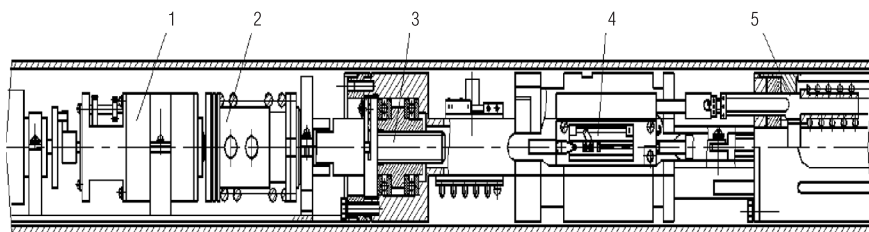


Рис. 1. Общий вид электромеханического блока прибора 4СКП:

1 – планетарный редуктор; 2 – шариковая предохранительная муфта; 3 – пара трения винт–гайка; 4 – электрические контакты скольжения; 5 – пары скольжения

Здесь же представлены разнообразные узлы трения, которые могут влиять на работоспособность прибора.

Гидростатическое давление среды (до 140 МПа) при исследовании скважины через компенсаторы передается на масло, которым наполнен прибор. Кроме воздействия гидростатического давления, происходит нагрев прибора до 175 °С. Из вышесказанного следует, что узлы трения скважинного каверномера-профилемера работают при действии высокого гидростатического давления и температуры.

Таким образом, особенности работы геофизической аппаратуры вызывают необходимость изучения трибологических характеристик в условиях высокого гидростатического давления и повышенной температуры. Известные трибологические сведения [1] при указанных условиях недостаточны, чтобы использовать их при проектировании силовой техники и прогнозировании работоспособности существующих узлов. Поэтому в ООО “Нефтегазгеофизика” были проведены исследовательские работы, направленные на изучение влияния высокого гидростатического давления на молекулярную составляющую коэффициента трения.

Экспериментальное оборудование и методическое обеспечение исследований

Удельная сдвиговая прочность молекулярных связей при действии гидростатического давления определялась в контакте конус–цилиндр. В цилиндре предварительно было сделано отверстие, которое гарантирует центрирование конуса и снижает неравномерность распре-

ления нормального давления. В качестве образцов использовались материалы пары трения (40х13–БрАЖН 10-4-4). Была спроектирована и изготовлена установка для изучения трения в условиях гидростатического давления (рис. 2).

Установка состоит из камеры высокого давления 3, корпуса 4 и втулки 5. Корпус и втулка поджимаются гайками 6 и 7. Внутри камеры располагается поворотный узел 8. Давление в камере создается штоком 9 при помощи гайки 10 и контролируется датчиком давления, установленным в камере. В камере также находятся датчик температуры, нагревательный элемент и предохранительный клапан давления (на рис. не показаны). Поршень 11 с коническим образцом вдавливается в образец с отверстием при помощи винта 12 и гайки 13.

Приложенная сила контролируется динамометром 14 (ДОСМ-10000Н) и при эксперименте поддерживается постоянной. Максимальная сила при повороте измеряется датчиком 15 (UU-K100) и фиксируется цифровым индикатором DN-10W (на схеме не показан). Вся конструкция закреплена между четырьмя стяжками и распорными втулками на основании 1. При помощи двигателя 16, который установлен на кронштейне 2, осуществляется поворот одного образца относительно другого.

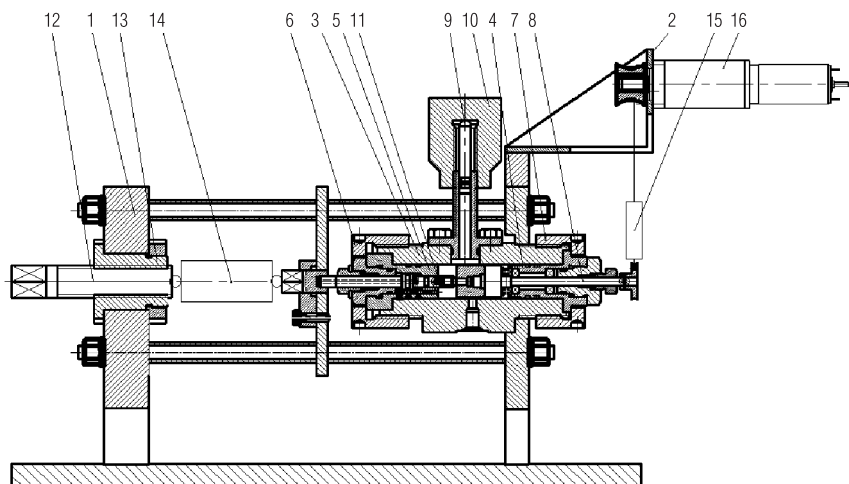


Рис. 2. Установка для изучения трения в условиях гидростатического давления

Для компенсации действия гидростатического давления в камере предусмотрен уравновешенный поршень с равными площадями. По каналам жидкость может перетекать из одной полости в другую.

Для исследования влияния гидростатического давления на адгезионные характеристики материалов были использованы образцы из стали 40х13 и бронзы БрАЖН 10-4-4. Данные материалы применяются в узлах трения геофизических приборов.

Удельная сила трения или контактные касательные напряжения характеризуют данное физическое состояние поверхности. Согласно [2, 3] удельная сила трения определяется по формуле

$$\tau_n = \tau_0 + \beta \cdot p_r, \quad (1)$$

где τ_0 – удельная прочность сдвига молекулярных связей в отсутствии нормальных нагрузок; β – пьезокоэффициент, характеризующий увеличение прочности молекулярных связей с увеличением нормальной нагрузки; p_r – фактическое давление.

Параметры τ_0 и β являются характеристиками “третьего тела”, образованного данной парой трущихся материалов под действием внешней среды и в данных условиях.

Полученные результаты и их обсуждение

Экспериментально были определены фрикционные характеристики материалов при работе в водной и масляной среде под действием гидростатического давления.

По полученным данным были построены графики зависимости удельной силы трения от фактического давления при действии гидростатического давления жидкости. Для примера на рис. 3 представлена зависимость для дистиллированной воды.

Отклонение опытных данных от расчетных не превышает 11% при доверительной вероятности 0,95.

Из графиков были определены параметры удельной силы трения при действии гидростатического давления, которые приведены в таблице.

Согласно молекулярно-механической теории трения И. В. Крагельского [2], молекулярная составляющая коэффициента трения определяется по формуле

$$f_M = \frac{\tau_0}{p_r} + \beta. \quad (2)$$

Молекулярная составляющая коэффициента трения при действии гидростатического давления жидкости рассчитана по формуле (2) с полученными параметрами удельной силы трения и представлена на рис. 4.

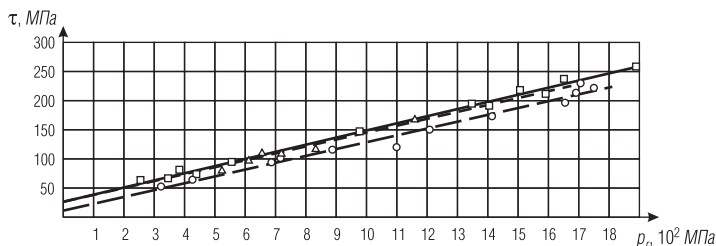


Рис. 3. Зависимости удельной силы трения от фактического давления при действии гидростатического давления жидкости: $\square$ – атмосферное давление; Δ – под давлением 49 МПа; $\circ$ – под давлением 98 МПа. Жидкость – дистиллированная вода. Сталь 40х13 – бронза БрАЖН 10-4-4

Таблица

Параметры удельной силы трения материалов при действии гидростатического давления

Контактная пара	Давление в камере, МПа	τ_0 , МПа	β	Среда
40х13 и БрАЖН 10-4-4	0,1	27,9	0,122	Дистил. вода
— // —	49	25,1	0,119	Дистил. вода
— // —	98	11,7	0,117	Дистил. вода

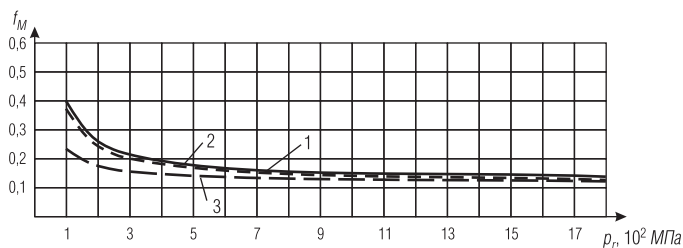


Рис. 4. Зависимости молекулярной составляющей коэффициента трения от фактического давления при действии гидростатического давления жидкости: 1 – атмосферное давление; 2 – под давлением 49 МПа; 3 – под давлением 98 МПа. Жидкость – дистиллированная вода. Сталь 40х13 – бронза БрАЖН 10-4-4

Из полученных результатов видно, что при действии гидростатического давления молекулярная составляющая коэффициента трения уменьшается до двух раз. Уменьшение происходит за счет фрикционного параметра τ_0 .

Выводы

Сконструирована, изготовлена и проверена на практике установка, позволяющая определять удельную силу трения и фрикционные параметры на модели контакта шероховатых поверхностей при действии гидростатического давления до 140 МПа и температуры 200 °С.

Разработанная инженерная методика экспериментального определения удельной силы трения при действии гидростатического давления необходима при создании перспективной техники для геофизических исследований.

Экспериментально показано, что при действии гидростатического давления молекулярная составляющая трения описывается двухчленной зависимостью, предложенной И. В. Крагельским. Установлено, что при увеличении гидростатического давления фрикционный параметр τ_0 уменьшается, а параметр β изменяется незначительно для металлических контактных пар.

В дальнейшем планируется продолжить исследовательские работы по влиянию высокого гидростатического давления и температуры на процессы трения. ООО «Нефтегазгеофизика» будет проводить их совместно с Тверским государственным техническим университетом.

ЛИТЕРАТУРА

1. Колесников Н. А., Курумов Л. С. О смазывающих и противоизносных свойствах промывочных агентов в условиях, приближенных к забойным // Технология бурения нефтяных и газовых скважин: Межвузовский сборник. Уфа: Уфимский нефтяной институт, 1975. Вып. 2. С. 129–134.
2. Крагельский И. В., Михин Н. М. Узлы трения машин: Справочник. М.: Машиностроение, 1984. 280 с.
3. Чинчинадзе А. В. Трение, износ и смазка (трибология и триботехника). М.: Машиностроение, 2003. 576 с.

Рецензент доктор техн. наук В. В. Измайлов