

УДК 621.538

Исследование моментов трения в рабочем зазоре герметизаторов при использовании разных типов магнитных жидкостей

В.А. Полетаев, Т.А. Пахолкова
ФГБОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина»,
Иваново, Российская Федерация
E-mail: poletaev@tam.ispu.ru

Авторское резюме

Состояние вопроса: В настоящее время при проектировании магнитных систем электромеханических устройств с разной величиной шероховатости поверхностей, контактирующих с магнитной жидкостью разного типа, влияние этой характеристики на момент трения магнитожидкостного устройства не учитывается.

Материалы и методы: Исследования проводились с деталями, формирующими рабочий зазор магнитожидкостного устройства, изготовленными из разных сталей с разной величиной шероховатости поверхности и контактирующими с магнитной жидкостью разного типа. Исследования проводились на специальной установке.

Результаты: В результате проведенных экспериментов выявлено, что момент трения магнитожидкостных устройств зависит от величины шероховатости поверхностей полюсов и втулки, контактирующих с магнитной жидкостью разного типа.

Выводы: Применение втулок с малой величиной шероховатости поверхности в рабочем зазоре позволит повысить эффективность и технико-экономические показатели большинства выпускаемых магнитожидкостных устройств.

Ключевые слова: величина шероховатости, энергия магнитного поля, момент трения, магнитожидкостное устройство.

Study of friction torques in specific gap of sealers when using different types of magnetic fluids

V.A. Poletayev, T.A. Paholkova
Ivanovo State Power Engineering University, Ivanovo, Russian Federation
E-mail: poletaev@tam.ispu.ru

Abstract

Background: Nowadays when designing magnetic systems of electromechanical units with different undulation levels of the surfaces contacting with magnetic fluid of different types, the influence of this characteristic on friction torques of magnetic fluid unit is not taken into account.

Materials and Methods: the research was done by using the parts which form the specific gap of the magnetic fluid unit, made from different types of steel with the different undulation levels and contacting with magnetic fluid of different types. The study was made on the base of a special unit.

Results: In the result of the experiment it was determined that friction torque of magnetic fluid units depends on the undulation level of polar terminal and sleeve contacting with magnetic fluid of different types.

Conclusions: Using sleeves with the low undulation level in specific gap allows to increase the effectiveness and technical-and-economical indexes of most part of produced magnetic fluid units.

Key words: undulation level, magnetic field energy, friction torques, magnetic fluid unit.

Момент трения является одним из важнейших параметров магнитожидкостных герметизаторов, который влияет на величины передаваемых моментов и мощности. На момент трения магнитожидкостного устройства влияет вязкость используемой магнитной жидкости, напряженность магнитного поля, градиент скорости сдвига в рабочем зазоре устройства, величина рабочего зазора, включающая величины шероховатости поверхностей полюсов и втулки, контактирующих с магнитной жидкостью.

Известно, что после механической обработки на поверхностях деталей образуются микронеровности. При расположении таких поверхностей в магнитном поле микронеровности ста-

новятся концентраторами линий векторного магнитного потенциала. Однородное магнитное поле около шероховатой магнитопроводящей поверхности перераспределяется и становится неоднородным [1]. Рельеф поверхности состоит из чередующихся выступов и впадин. Математическое моделирование магнитного поля около поверхности показало, что перераспределение поля начинается на высоте $3-4h$ от поверхности, где h – высота среднего выступа [2]. В направлении поверхности напряженность поля растет над выступом, над впадиной снижается. Индукция около выступов в разы превышает среднюю индукцию над поверхностью, во впадинах, наоборот, индукция в разы ниже. То есть около рассматри-

ваемой магнитопроводящей поверхности значение индукции меняется в десять с лишним раз. Степень перераспределения индукции магнитного поля определяется формой и соотношением ширины и высоты выступов шероховатой поверхности.

Если поместить около шероховатой поверхности мелкодисперсную магнитную среду, допустим магнитную жидкость, то магнитные частицы будут стремиться попасть в зону, где напряженность поля максимальна, то есть к вершине выступа, создавая здесь повышенную концентрацию частиц. Вершины выступов покрываются слоем частиц, которые прочно удерживаются на поверхности. Магнитные частицы выстраиваются также в цепочки по линиям магнитного поля. Силы взаимодействия между частицами тем выше, чем сильнее напряженность магнитного поля. То есть прочность цепочек из частиц существенно выше около вершин выступов шероховатой поверхности, чем на некотором удалении, где поле равномерное. Цепочки прочно связаны с вершинами выступов. Около шероховатой магнитопроводящей поверхности образуется слой магнитной жидкости с более сильным внутренним взаимодействием частиц, вследствие чего слой более прочный, чем слои жидкости в равномерном поле, и, следовательно, менее подвижный. Каким образом данный приповерхностный слой отразится на параметрах электромеханических устройств с мелкодисперсными рабочими средами? При движении шероховатой поверхности цепочки будут разрушаться в первую очередь в области однородного магнитного поля, где силы взаимодействия между частицами меньше. Около шероховатой поверхности будет существовать трудно разрушимый слой мелкодисперсной рабочей среды. Если рассматривается шероховатая поверхность вращающегося вала, то появление неподвижного слоя мелкодисперсной рабочей среды увеличивает эффективный диаметр вала, следовательно, возрастает момент трения вала устройства. Если толщина слоя соизмерима с рабочим зазором устройства, то его появление сокращает величину

рабочего зазора, способствует заметному увеличению градиента сдвига и напряжению сдвига дисперсной среды в зазоре, соответственно, повышению потерь в устройстве.

Для определения влияния величины шероховатости на момент трения магнитожидкостного устройства была спроектирована и изготовлена экспериментальная установка (рис. 1, 2).

Магнитная жидкость размещается в равномерном рабочем зазоре с однородным магнитным полем между сменными полюсами 4 и сменной втулкой 9. Источником магнитного поля являются цилиндрические постоянные магниты 6, равномерно размещенные по окружности между полюсными приставками. Вал приводится в движение электродвигателем с регулируемой скоростью вращения. Момент трения, создаваемый магнитной жидкостью и опорными подшипниками, передается на магнитную систему устройства и измеряется индикатором 14. Сменные втулки вала 9 выполнены из стали 3. Измерение шероховатости наружной поверхности сменных втулок производилось на приборе профилетре-профилографе АБРИС-ПМ7 с записью на ЭВМ.

При испытаниях первоначально измерялся момент трения на валу в зависимости от скорости при отсутствии магнитной жидкости в рабочем зазоре, то есть определялся момент, создаваемый подшипниками. Затем в зазор вводилась магнитная жидкость и измерение повторялось. Исследования проводились с магнитными жидкостями типов МКС-350-40, МКС-003-60, МКА-1-40, МКА-1-30, МКА-1-25.

На рис. 3–5 представлены зависимости моментов трения от частоты вращения втулок из стали 3 с разными величинами шероховатости поверхности Ra для различных типов магнитной жидкости.

Использовались редкоземельные магниты типа ИЖКГ из материала ЮНДКТ5БА диаметром 10 мм с индукцией $\geq 0,5$ (Вт, Тл) и коэрцитивной силой ≥ 120 (кА/м).

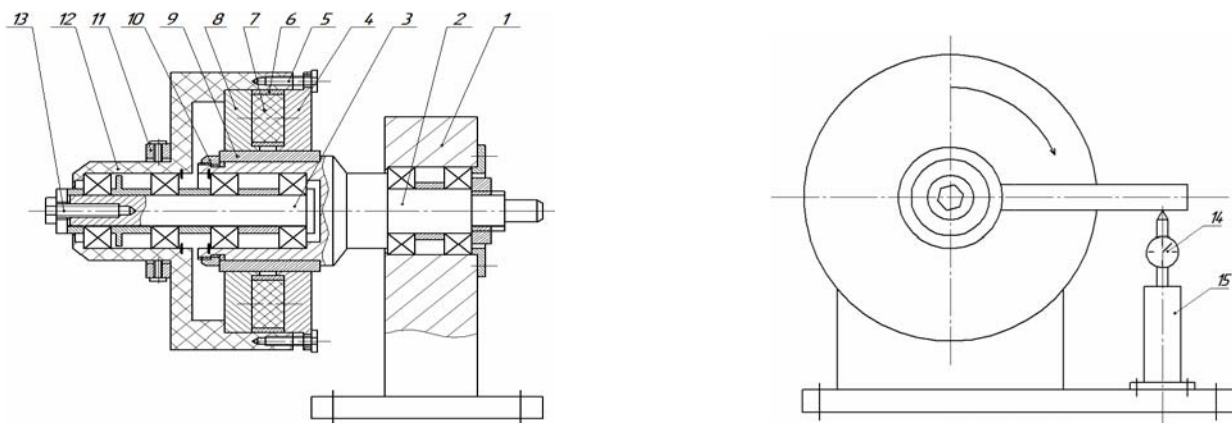


Рис. 1. Схема экспериментальной установки: 1 – стойка; 2 – подвижный вал; 3 – неподвижный вал; 4 – съемный полюс; 5 – болт; 6 – диск; 7 – магнит; 8 – съемный полюс; 9 – сменная втулка; 10 – гайка; 11 – хомут; 12 – корпус; 13 – болт; 14 – индикатор; 15 – опора

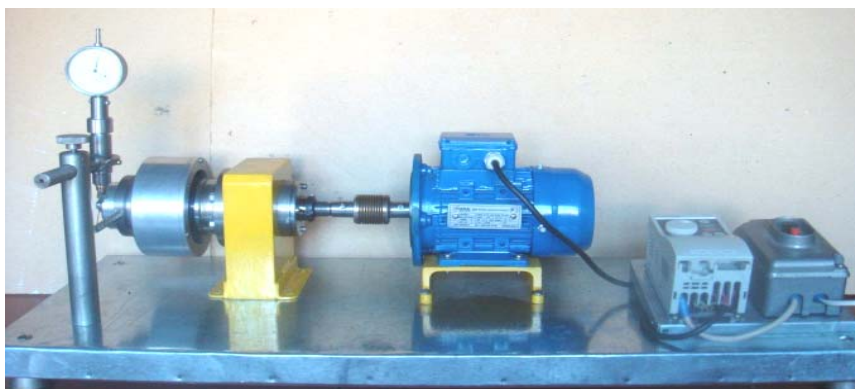


Рис. 2. Фотография экспериментальной установки

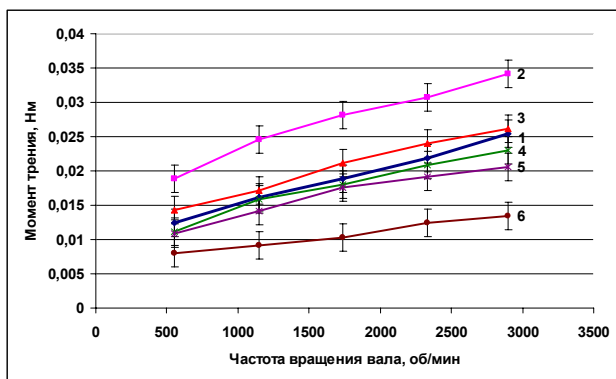


Рис. 3. Зависимость моментов трения от частоты вращения втулок из стали 3 при величине шероховатости поверхности $Ra = 7,210$ мкм для разных типов магнитной жидкости: 1 – МКС-350-40; 2 – МКС-003-60; 3 – МКА-1-40; 4 – МКА-1-30; 5 – МКА-1-25; 6 – без магнитной жидкости

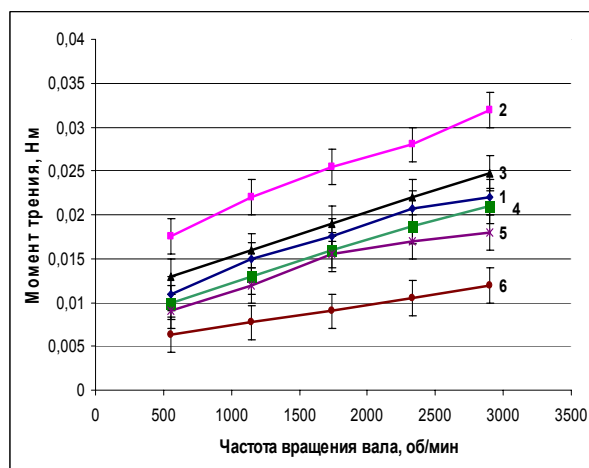


Рис. 5. Зависимость моментов трения от частоты вращения втулок из стали 3 при величине шероховатости поверхности $Ra = 0,354$ мкм для разных типов магнитной жидкости: 1 – МКС-350-40; 2 – МКС-003-60; 3 – МКА-1-40; 4 – МКА-1-30; 5 – МКА-1-25; 6 – без магнитной жидкости

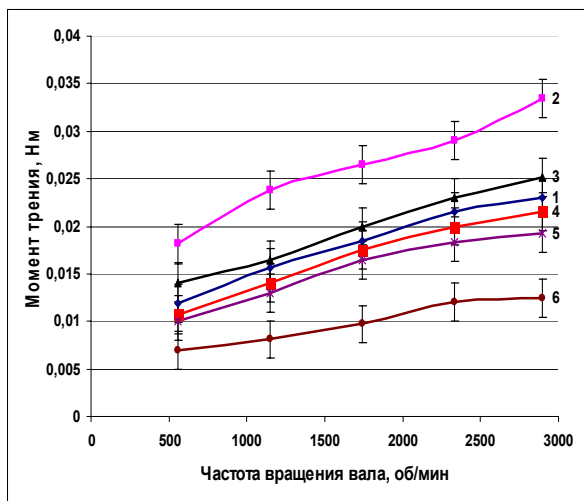


Рис. 4. Зависимость моментов трения от частоты вращения втулок из стали 3 при величине шероховатости поверхности $Ra = 1,220$ мкм для разных типов магнитной жидкости: 1 – МКС-350-40; 2 – МКС-003-60; 3 – МКА-1-40; 4 – МКА-1-30; 5 – МКА-1-25; 6 – без магнитной жидкости

На рис. 6–8 представлены зависимости моментов трения от частоты вращения втулок из стали 3 с разными величинами шероховатости поверхности Ra для различных типов магнитной жидкости.

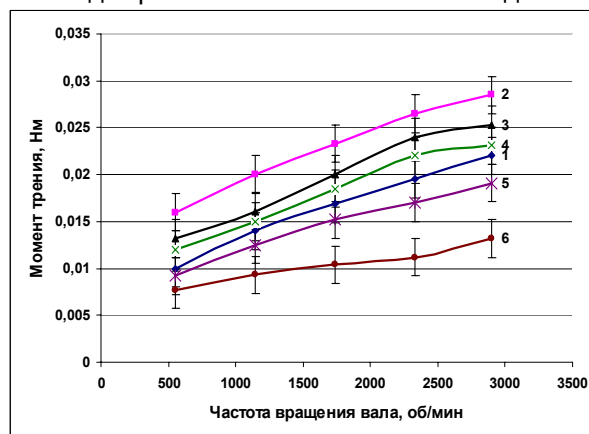


Рис. 6. Зависимость моментов трения от частоты вращения втулок из стали 3 при величине шероховатости поверхности $Ra = 7,210$ мкм для разных типов магнитной жидкости: 1 – МКС-350-40; 2 – МКС-003-60; 3 – МКА-1-40; 4 – МКА-1-30; 5 – МКА-1-25; 6 – без магнитной жидкости

При исследованиях использовались магниты типа ЕАЖИ из материала феррит стронция диаметром 15×4 мм с индукцией $\geq 0,3$ (Вт, Тл) и коэрцитивной силой ≥ 158 (кА/м).

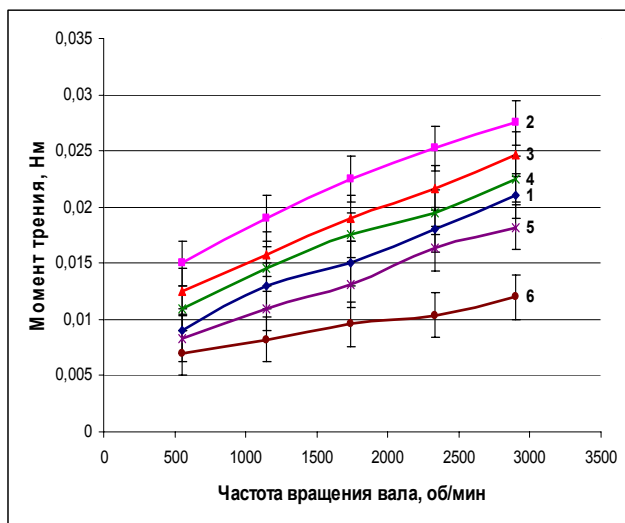


Рис. 7. Зависимость моментов трения от частоты вращения втулок из стали 3 при величине шероховатости поверхности $R_a = 1,220$ мкм для разных типов магнитной жидкости: 1 – МКС-350-40; 2 – МКС-003-60; 3 – МКА-1-40; 4 – МКА-1-30; 5 – МКА-1-25; 6 – без магнитной жидкости

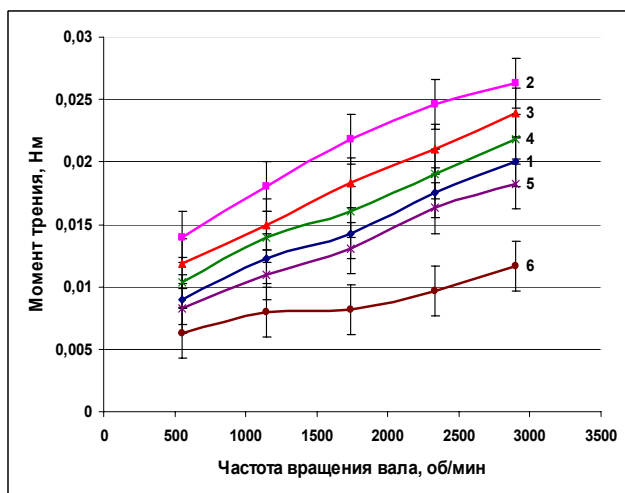


Рис. 8. Зависимость моментов трения от частоты вращения втулок из стали 3 при величине шероховатости поверхности $R_a = 0,354$ мкм для разных типов магнитной жидкости: 1 – МКС-350-40; 2 – МКС-003-60; 3 – МКА-1-40; 4 – МКА-1-30; 5 – МКА-1-25; 6 – без магнитной жидкости

На рис. 9–11 представлены зависимости моментов трения от частоты вращения втулок из стали 3 с разными величинами шероховатости поверхности R_a для различных типов магнитной жидкости. Использовались магниты типа ИЖКГ из материала феррит стронция диаметром 20 мм с

индукцией $\geq 0,3$ (Вт, Тл) и коэрцитивной силой ≥ 185 (кА/м).

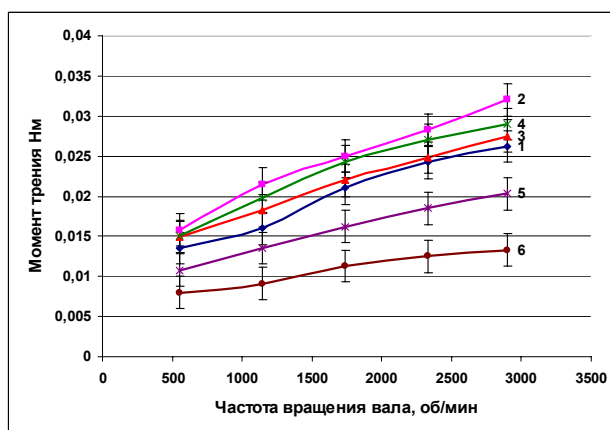


Рис. 9. Зависимость моментов трения от частоты вращения втулок при величине шероховатости поверхности $R_a = 7,210$ мкм для разных типов магнитной жидкости: 1 – МКС-350-40; 2 – МКС-003-60; 3 – МКА-1-40; 4 – МКА-1-30; 5 – МКА-1-25; 6 – без магнитной жидкости

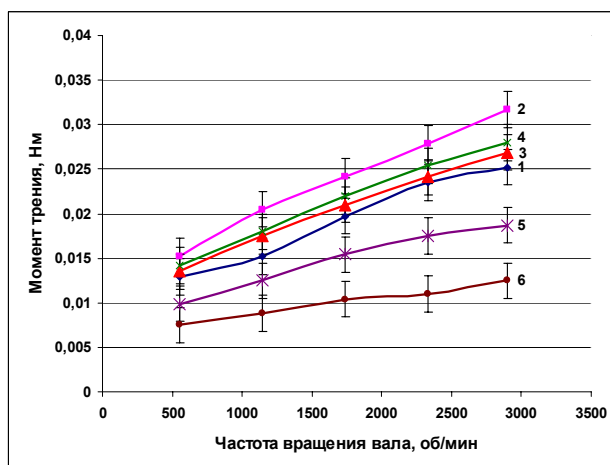


Рис. 10. Зависимость моментов трения от частоты вращения втулок при величине шероховатости поверхности $R_a = 1,220$ мкм для разных типов магнитной жидкости: 1 – МКС-350-40; 2 – МКС-003-60; 3 – МКА-1-40; 4 – МКА-1-30; 5 – МКА-1-25; 6 – без магнитной жидкости

В результате проведенных экспериментов выявлено, что момент трения магнито-жидкостных устройств зависит от величины шероховатости поверхностей полюсов и втулки, контактирующих с магнитной жидкостью разного типа. Применение втулок с малой величиной шероховатости поверхности в рабочем зазоре позволит повысить эффективность и технико-экономические показатели большинства выпускаемых магнито-жидкостных устройств.

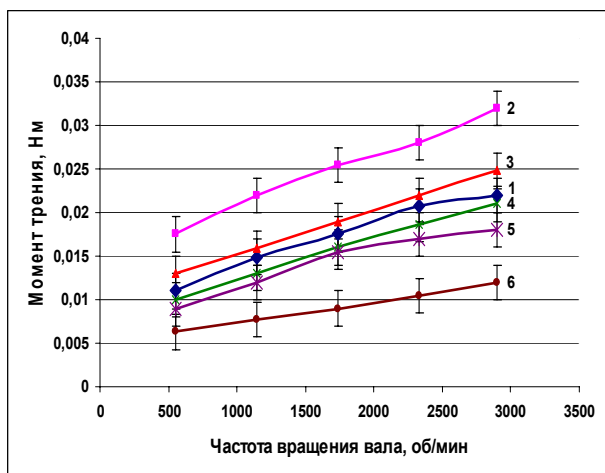


Рис. 11. Зависимость моментов трения от частоты вращения втулок при величине шероховатости поверхности $Ra = 0,354$ мкм для разных типов магнитной жидкости: 1 – МКС-350-40; 2 – МКС-003-60; 3 – МКА-1-40; 4 – МКА-1-30; 5 – МКА-1-25; 6 – без магнитной жидкости

Полетаев Владимир Алексеевич,

ФГБОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина»,
доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой технологии автоматизированного машиностроения,
телефон (4932) 26-97-72,
e-mail: poletaev@tam.ispu.ru

Пахолкова Татьяна Александровна,

ФГБОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина»,
соискатель кафедры технологии автоматизированного машиностроения,
телефон (4932) 26-97-73,
e-mail: tanypah@mail.ru

Список литературы

1. Перминов С.М. Исследование кромочных эффектов магнитного поля с учетом нелинейных свойств магнитных материалов методом математического моделирования // Вестник ИГЭУ. – 2011. – Вып. 4. – С. 30-32.

2. Перминов С.М., Полетаев В.А., Пахолкова Т.А. Исследование магнитного поля в рабочем зазоре с шероховатой магнитопроводящей поверхностью трения электромеханического устройства // Вестник ИГЭУ. – 2012. – Вып. 2. – С. 36–42.

References

1. Perminov, S.M. *Vestnik IGEU*, 2011, no. 4, pp. 30–32 p.
2. Perminov, S.M., Poletaev, V.A., Pakholkova, T.A. *Vestnik IGEU*, 2012, no. 2, pp. 36–42.