

Интернет-журнал «Наукоедение» ISSN 2223-5167 <https://naukovedenie.ru/>

Том 9, №5 (2017) <https://naukovedenie.ru/vol9-5.php>

URL статьи: <https://naukovedenie.ru/PDF/13TVN517.pdf>

Статья опубликована 05.10.2017

Ссылка для цитирования этой статьи:

Топоров А.В., Киселев В.В., Покровский А.А., Легкова И.А., Иванов В.Е. Исследование процессов работы комбинированных магнитожидкостных уплотнений механических приводов // Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ» Том 9, №5 (2017) <https://naukovedenie.ru/PDF/13TVN517.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ.

УДК 621.318

Топоров Алексей Валериевич

ФГБОУ ВО «Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России», Россия, Иваново¹

Кандидат технических наук, доцент

E-mail: ironaxe@mail.ru

РИНЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=453162

Киселев Вячеслав Валериевич

ФГБОУ ВО «Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России», Россия, Иваново

Начальник кафедры

Кандидат технических наук, доцент

E-mail: slavakis76@mail.ru

РИНЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=342823

Покровский Аркадий Алексеевич

ФГБОУ ВО «Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России», Россия, Иваново

Кандидат технических наук, доцент

E-mail: aapokrovsky@mail.ru

РИНЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=411351

Легкова Ирина Анатольевна

ФГБОУ ВО «Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России», Россия, Иваново

Кандидат технических наук, доцент

E-mail: legkovai@mail.ru

РИНЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=366562

Иванов Виталий Евгеньевич

ФГБОУ ВО «Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России», Россия, Иваново

Старший преподаватель

Кандидат технических наук

E-mail: vitaliyivanov@yandex.ru

РИНЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=757399

Исследование процессов работы комбинированных магнитожидкостных уплотнений механических приводов

Аннотация. Комбинированные магнитожидкостные уплотнения позволяют эффективно решать задачи разделения рабочих сред и герметизации подшипниковых узлов в устройствах механических приводов. В таких уплотнениях магнитная жидкость играет роль

¹ 153030, г. Иваново, ул. Стрелочная, д. 17

рабочего тела и смазочного материала для трущихся частей. Наиболее перспективным направлением является создание комбинированных магнитожидкостных уплотнений на основе манжетных уплотнений.

В манжетных уплотнениях трение происходит в паре резина-металл. В статье представлены результаты исследований процесса трения эластомерного материала (резины) по стальным поверхностям, имеющим различную чистоту обработки при использовании в качестве смазки магнитных жидкостей при наложении магнитного поля.

Для сокращения количества испытаний в процессе проведения экспериментов использовался метод математического планирования экспериментов. Использование методов оптимального планирования эксперимента позволило уменьшить до минимума число измерений для построения адекватных моделей и добиться значительного сокращения времени и материальных затрат на изучение процесса трения эластомерного материала по металлу.

В ходе проведенных исследований установлено влияние на процесс трения в комбинированных магнитожидкостных уплотнениях с эластомерным рабочим элементом таких факторов, как величина магнитной индукции в рабочем зазоре, скорости скольжения контртел, контактного усилия.

Ключевые слова: комбинированное магнитожидкостное уплотнение; магнитная жидкость; планирование эксперимента; трение; привод; рабочие характеристики; магнитное поле; экспериментальная установка

При герметизации вращающихся валов механических приводов встает задача создания надежных и простых уплотнений. Долговечность работы уплотнения оказывает значительное влияние на работоспособность систем приводов, узлов и деталей машин. Рост скоростей агрегатов, температур и давлений уплотняемых сред предъявляет к уплотнительным устройствам высокие эксплуатационные требования. Одним из наиболее перспективных видов уплотнений являются комбинированные магнитожидкостные уплотнения. При разработке таких уплотнительных устройств встает ряд задач, для решения которых требуется комплексный подход.

Присутствие в комбинированном уплотнении магнитожидкостной ступени предполагает наличие магнитной системы [1, 2]. Магнитная система способна удерживать магнитную жидкость в рабочей области таких уплотнений.

При использовании магнитной жидкости в качестве смазки ее структура и свойства, а также наличие магнитного поля могут оказывать значительное влияние на процесс трения.

Проявление смазочных свойств внешней среды, в которой происходит трение заключается в образовании в области трения пленки смазочного материала.

Образующаяся в процессе трения пленка может значительно уменьшить непосредственный контакт трущихся поверхностей. Наличие смазки в области трения может значительно изменить характер контакта и режим трения, вызвать уменьшение силы трения и износа.

Оценка смазочных свойств какой-либо среды может быть произведена путем измерения силы (момента) трения и износа при трении образцов.

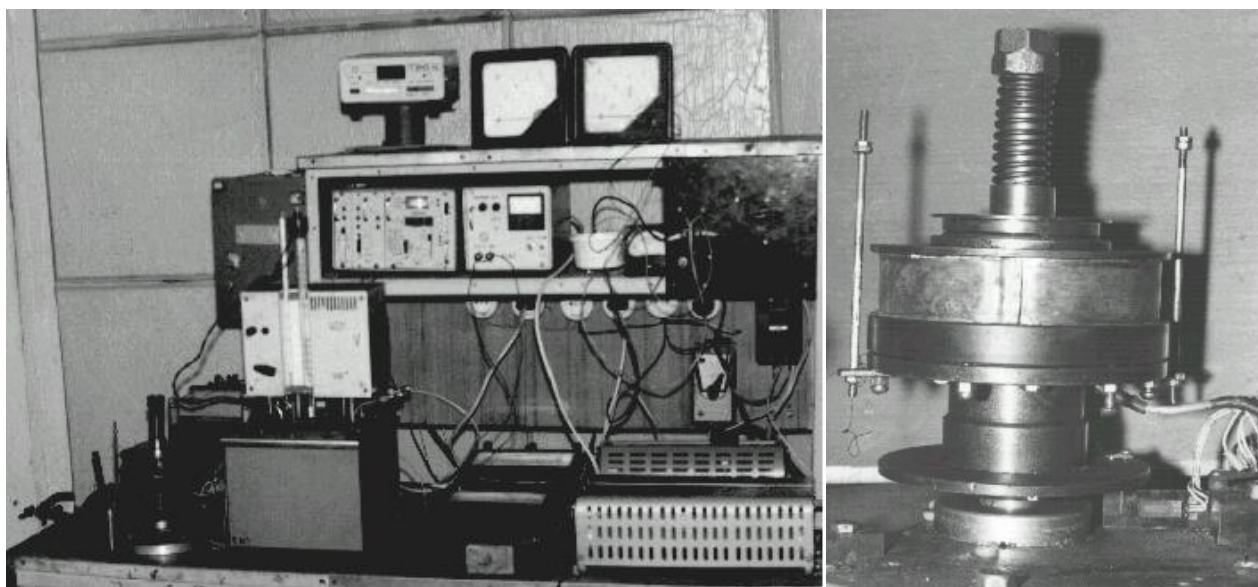
На основании теории трения в паре эластомер-металл [3] установлено, что основное влияние на процесс трения оказывает ряд факторов:

1. Шероховатость металлического элемента, входящего в пару трения.

2. Контактное усилие в паре трения.
3. Скорость скольжения.
4. Смазочный материал.
5. Магнитная индукция в области трения (для случая трения в присутствии магнитной жидкости).

Эксперименты проводились на специальной экспериментальной установке, описанной в [4]. Фотография установки представлена на (рис. 1).

В качестве смазочного материала применялся ряд магнитных жидкостей, отличающихся по своим свойствам. При проведении экспериментов использовались магнитные жидкости, приготовленные на полиэтилсилаксане (ПЭС-5) с различными магнитными наполнителями. Магнитной фазой в этих жидкостях являлось карбонильное железо, магнетит, и их смесь. Основным отличим между частицами магнетита и карбонильного железа, помимо физических и химических свойств, является их форма. Так, микрочастицы карбонильного железа имеют шаровидную форму, а частицы магнетита произвольную конфигурацию [5]. Поэтому, используя в качестве смазки жидкости с такими магнитными фазами можно установить влияние на процесс трения конфигурации частиц магнитного наполнителя. Характеристики МЖ приведены в таблице 1.



а

б

Рисунок 1. Установка для исследования процессов трения:
а – общий вид, б – узел трения (составлено авторами)

Для выявления влияния магнитного наполнителя на процесс трения эксперименты также проводились с чистым ПЭС-5.

Эксперименты проводились при трех различных обработках поверхности твердого тела трения, соответствующих различным шероховатостям поверхности – $R_z = 8,5$ мкм, $R_z = 2,6$ мкм, $R_z = 0,6$ мкм.

Исследования процессов трения в присутствии магнитной жидкости производились с использованием теории планирования многофакторного эксперимента [6]. За критерий оптимизации при планировании и проведении экспериментов принималась величина момента

трения $M_{тр}$. В качестве факторов были выбраны скорость скольжения образцов V_c , контактное усилие P_k , магнитная индукция в области трения B .

Таблица 1

Характеристики магнитных жидкостей (составлено авторами)

№	Состав магнитной фазы %		Жидкость – носитель	Намагниченность насыщения, кА/м	Вязкость η , Па·с	Плотность г/см ³
	Магнетит	Карбонильное железо				
1	25	-	ПЭС 5	не ниже 26	0,5 – 1	0,98
2	8	17	ПЭС 5	не ниже 25	0,5 – 1	0,98
3	-	25	ПЭС 5	не ниже 21	1 – 1,5	0,98
4	-	-	ПЭС 5	-	0,5 – 0,8	-

Границы варьирования факторов выбирались следующим образом. Нижний и верхний уровни контактного усилия соответствовали минимальному и максимальному P_k рекомендованному [3] для манжет, диаметр рабочей кромки которых соответствует диаметру эластомерного элемента трения. Пределы варьирования величины магнитной индукции принимались на основании расчета магнитных полей в комбинированных уплотнениях [7]. Основные уровни и интервалы варьирования факторов приведены в таблице 2.

Функция отклика, характеризующая момент трения зависит от трех факторов:

$$y = f(X_1, X_2, X_3)$$

Наименование факторов представлено в таблице 2. Кодированное значение факторов X_i определяется по выражению

$$X_i = (X_i - X_{i0}) / \Delta X_i,$$

где: X_i – кодированное значение i -го фактора, X_i – натуральное значение i -го фактора, X_{i0} – натуральное значение основного уровня i -го фактора, ΔX_i – интервал варьирования i -го фактора.

Матрица планирования эксперимента представлена в таблице 3.

Таблица 2

Кодирование и уровни факторов (составлено авторами)

Наименование фактора и единицы измерения	Код фактора	Интервал варьирования	Уровень факторов		
			Нижний -	Основной 0	Верхний +
Магнитная индукция, Тл	X_1	0,63	0,001	0,316	0,631
Контактное усилие, Н/см	X_2	1,461	1,469	2,199	2,93
Скорость скольжения, м/с	X_3	3,4	0,34	2,04	3,74

Таблица 3

Матрица планирования (составлено авторами)

№	X_1	X_2	X_3	X_1 , Тл	X_2 , Н/см	X_3 , м/с
1	-	-	-	0,001	1,469	0,34
2	-	-	+	0,001	1,469	3,74
3	-	+	-	0,001	2,93	0,34
4	-	+	+	0,001	2,93	3,74
5	+	-	-	0,631	1,469	0,34
6	+	-	+	0,631	1,469	3,74

№	X ₁	X ₂	X ₃	X ₁ , Тл	X ₂ , Н/см	X ₃ , м/с
7	+	+	-	0,631	2,93	0,34
8	+	+	+	0,631	2,93	3,74

При исследовании смазочных свойств традиционных смазок так же применялась методика планирования экспериментов. Однако, из матрицы планирования была исключена магнитная индукция. Эксперимент проводился с учетом двух факторов – скорости скольжения и контактно усилия. Основной уровень и интервалы варьирования приведены в таблице 4. Матрица планирования приведена в таблице 5.

Таблица 4

Кодирование и уровни факторов (составлено авторами)

Наименование фактора и единицы измерения	Код фактора	Интервал варьирования	Уровень факторов		
			нижний -	основной 0	верхний +
Контактное усилие, Н/см	X ₂	1,461	1,469	2,199	2,93
Скорость скольжения, м/с	X ₃	3,4	0,34	2,04	3,74

Каждый опыт повторялся пятикратно. Порядок проведения опытов принимался из таблицы случайных чисел. Для получения уравнения регрессии адекватно описывающего исследуемый процесс, осуществлялась статистическая обработка результатов планирования эксперимента [6]. В соответствии с вышеизложенным методом планирования, эксперименты проводились для каждой шероховатости поверхности твердого тела трения с использованием в качестве смазки каждого из вышеуказанных смазочных материалов.

Таблица 5

Матрица планирования (составлено авторами)

№	X ₁	X ₂	X ₁ , Н/см	X ₂ , м/с
1	-	-	1,469	0,34
2	-	+	1,469	3,74
3	+	-	2,93	0,34
4	+	+	2,93	3,74

Эксперименты проводились по следующей методике.

Перед проведением эксперимента приборы, предназначенные для измерения момента трения, были протарированы при помощи набора грузов массой 225 г. каждый, по схеме, представленной на рис. 2. Набор грузов создает постоянный крутящий момент, который регистрируется при помощи милливольтметра. Крутящий момент равен:

$$M = PD / 2$$

где: P – масса грузов, D – диаметр корпуса.

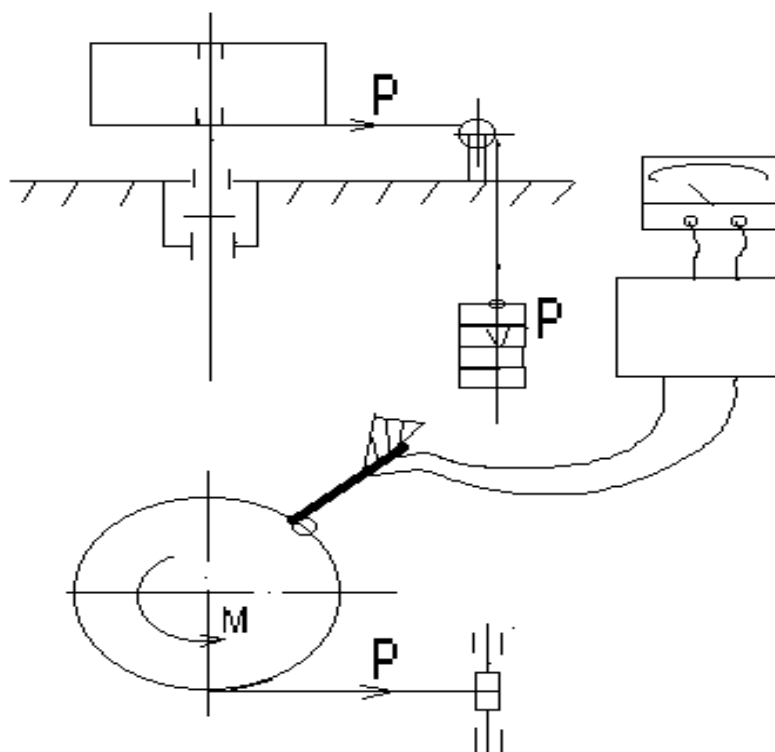


Рисунок 2. Схема тарирования тензобалки (составлено авторами)

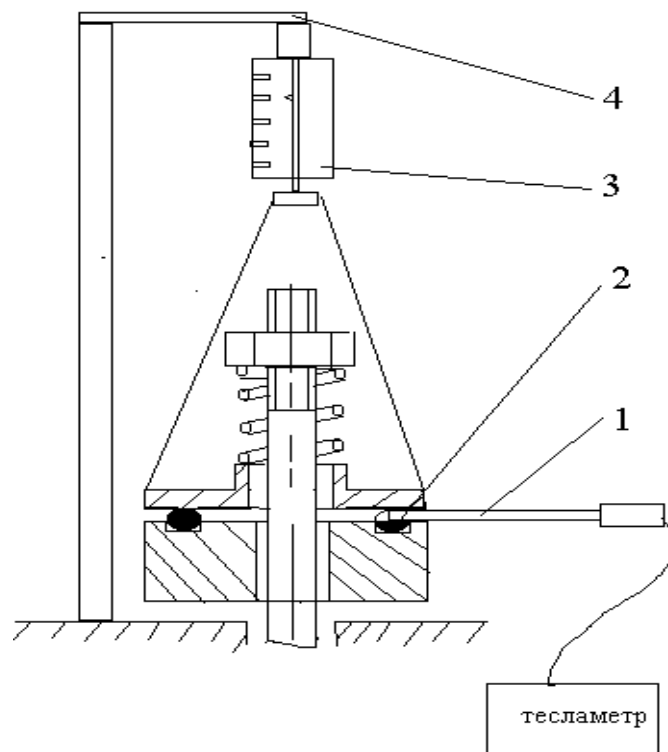


Рисунок 3. Схема измерения магнитной индукции в области трения:
1 – щуп тесламетра, 2 – резиновое кольцо с прорезью, 3 – динамометр, 4 – штатив
(составлено авторами)

Что бы обеспечить постоянную температуру в области трения в течение 10 мин. через рубашку охлаждения пропускается вода заданной температуры. Затем устанавливается необходимая величина магнитной индукции в области трения. Производится это следующим

образом. В проточку корпуса помещается резиновое кольцо с прямоугольным вырезом, достаточным для помещения в него щупа тесламетра. По своим размерам и свойствам кольцо соответствует эластомерному элементу, применяемому при исследовании процесса трения. На вал станда устанавливается диск, выполняющий функцию твердого тела трения, пружина и гайка (рис. 3).

Изменяя при помощи гайки величину сжатия пружины, устанавливается ее необходимое усилие, соответствующее определенному контактному усилию в области трения. Усилие пружины контролируется при помощи динамометра, присоединенного к твердому телу трения. Затем в вырез резинового кольца помещается щуп тесламетра и путем изменения тока в электромагнитной катушке устанавливается необходимое значение магнитной индукции. Величина тока, соответствующая определенному значению индукции в области трения, определяется при помощи амперметра. При увеличении усилия пружины происходит деформация резинового кольца, а значит и уменьшение магнитного зазора между твердым телом трения и корпусом. Уменьшение зазора приводит к изменению его магнитной проницаемости. Поэтому, измерение индукции в области трения производится при таком усилии пружины, которое устанавливается при исследовании процесса трения.

После определения тока в электромагнитной катушке, гайка, пружина, твердый элемент трения удаляются с вала установки, а кольцо с прорезью извлекается из проточки корпуса. На его место помещается эластомерный элемент трения, предварительно промытый в спирте в течение 10 с и просушенный. Далее, на вал помещается твердый элемент трения, пружина и гайка. Подается ток в электромагнитную катушку величина которого соответствует ранее определенной. Производится установка необходимого усилия пружины. Затем в область трения при помощи шприца помещается магнитная жидкость, количество которой определяется визуально. Включается приводной электродвигатель и устанавливается необходимая частота вращения вала. Производится измерение момента. Опыты повторяются для каждой частоты вращения вала, усилия пружины, магнитной индукции в соответствии с планом исследований.

В соответствие с представленной методикой получен ряд уравнений регрессии для магнитных жидкостей на основе ПЭС-5, характеристики которых приведены в таблице 1. Уравнения регрессии для различных шероховатостей поверхностей приведены в таблице 6.

Таблица 6

Уравнения регрессии (составлено авторами)

№	Магнитная жидкость	Уравнение регрессии	Шероховатость поверхности
1	1	$M_1(B, P, V) = 1,236B^{-0,0173} \cdot P^{0,364} \cdot V^{-0,11}$	$R_Z = 8,5$
2	2	$M_2(B, P, V) = 1,205B^{-0,0191} \cdot P^{0,3607} \cdot V^{-0,0983}$	
3	3	$M_3(B, P, V) = 1,205B^{-0,0211} \cdot P^{0,3415} \cdot V^{-0,0835}$	
4	4	$M_{A1}(P, V) = P^{0,3515} \cdot V^{-0,11}$	
5	1	$M_{10}(B, P, V) = 1,342B^{-0,0404} \cdot P^{0,36} \cdot V^{-0,121}$	$R_Z = 2,6$
6	2	$M_{11}(B, P, V) = 1,26B^{-0,0331} \cdot P^{0,4} M V^{-0,112}$	
7	3	$M_{12}(B, P, V) = 1,221B^{-0,0254} \cdot P^{0,42} \cdot V^{-0,0885}$	
8	4	$M_{A2}(P, V) = 1,34P^{0,44} \cdot V^{-0,1532}$	
9	1	$M_{19}(B, P, V) = 1,8015B^{-0,0198} \cdot P^{0,481} \cdot V^{-0,243}$	$R_Z = 0,6$
10	2	$M_{20}(B, P, V) = 1,506B^{-0,0234} \cdot P^{0,5543} \cdot V^{-0,1829}$	
11	3	$M_{21}(B, P, V) = 1,365B^{-0,221} \cdot P^{0,570} \cdot V^{-0,125}$	
12	4	$M_{A3}(P, V) = 1,52P^{0,582} \cdot V^{-0,204}$	

На рис. 4 представлены зависимости момента трения от величины магнитной индукции для различных МЖ при различной чистоте обработки твердой поверхности трения.

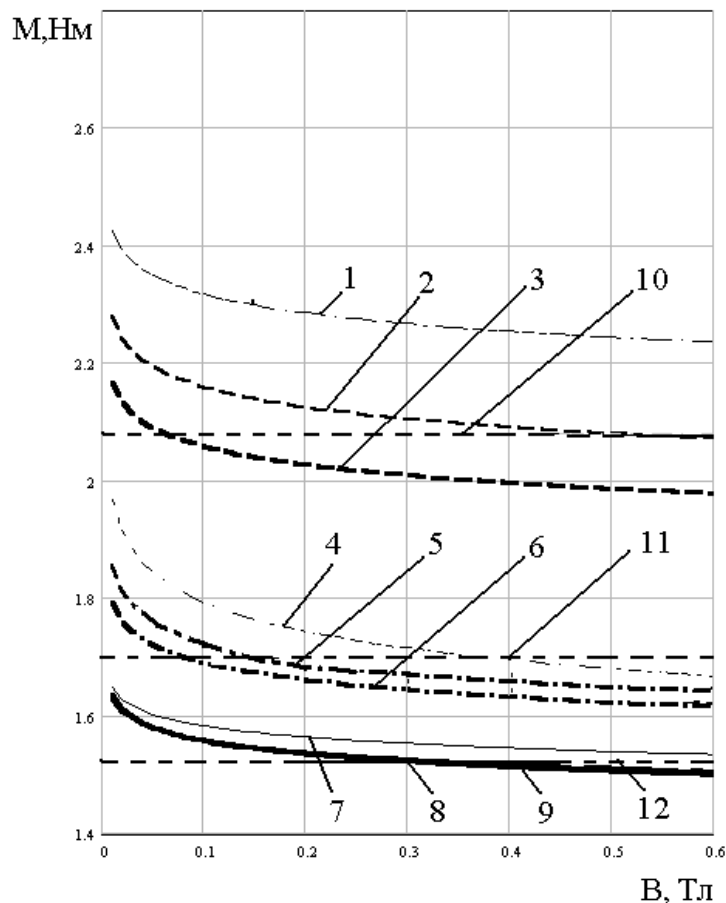


Рисунок 4. Зависимость момента трения от величины магнитной индукции при $V = 2,04$ м/с, $R_k = 2,203$ Н/см для жидкостей на ПЭС-5:1 – МЖ на магнетите (МЖ-1), $R_z = 8,5$; 2 – МЖ на магнетите и железе (МЖ-2), $R_z = 8,5$; 3 – МЖ на железе (МЖ-3), $R_z = 8,5$; 4 – МЖ на магнетите (МЖ-1), $R_z = 2,5$; 5 – МЖ на магнетите и железе (МЖ-2), $R_z = 2,5$; 6 – МЖ на железе (МЖ-3), $R_z = 2,5$; 7 – МЖ на железе (МЖ-1), $R_z = 0,6$; 8 – МЖ на магнетите и железе (МЖ-2), $R_z = 0,6$; 9 – МЖ на железе (МЖ-3), $R_z = 0,6$; 10 – ПЭС-5 без магнитного наполнителя, $R_z = 8,5$; 11 – ПЭС-5 без магнитного наполнителя, $R_z = 2,6$; 12 – ПЭС-5 без магнитного наполнителя, $R_z = 0,6$ (составлено авторами)

Во всех случаях имеет место снижение момента трения при росте магнитной индукции с 0 до 0,6 Тл, не превышающее 10 % от величины момента при отсутствии магнитного поля.

Для жидкостей с шаровидным наполнителем момент трения меньше по сравнению с жидкостями, имеющими магнитный наполнитель игольчатой формы.

При увеличении качества обработки поверхности наблюдается снижение момента трения.

На рисунке 5 представлены зависимости момента трения от контактного усилия R_k для различных магнитных жидкостей при магнитной индукции $B = 0,2$ Тл.

Во всех случаях можно отметить возрастание момента трения. При увеличении качества обработки поверхности твердого тела до $R_z = 2,6$ мкм характер кривых момента трения изменяется. Кривые моментов трения для жидкостей на карбонильном железе и на магнетите и карбонильном железе сближаются, что говорит о снижении влияния на процесс трения магнитного наполнителя магнитной жидкости.

Такой характер кривых может быть обусловлен «срезанием» агломераций магнитного наполнителя с вершин микронеровностей и его перемещении во впадины, следствием чего является выравнивание поверхности трения твердого контртела.

При высокой чистоте обработки поверхности, порядка $R_z = 0,6\text{мкм}$ конфигурация частиц магнитного наполнителя практически не влияет на процесс трения, поскольку увеличение контактного усилия не приводит к перераспределению магнитных частиц.

На рисунке 6 представлены кривая зависимости момента трения от скорости скольжения при $P_k = 2,203\text{ Н/см}$.

Во всех случаях при увеличении скорости скольжения имеет место уменьшение момента трения. Можно отметить, что при увеличении скорости скольжения различия в величине момента трения уменьшаются, что может свидетельствовать о переходе к упругогидродинамическому режиму трения. Поскольку частицы магнитного наполнителя находятся в слое жидкости их конфигурация перестает оказывать влияние на процесс трения.

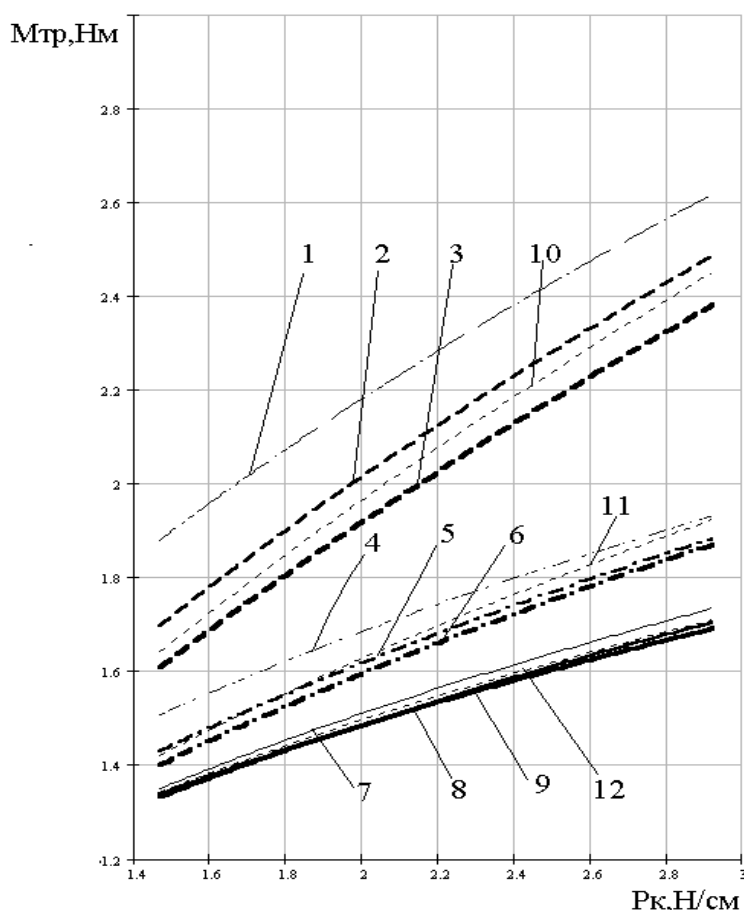


Рисунок 5. Зависимость момента трения от величины контактного усилия при $V = 2,04\text{ м/с}$, $B = 0,2\text{Тл}$ для жидкостей на ПЭС-5: 1 – МЖ на магнетите (МЖ-1), $R_z = 8,5$; 2 – МЖ на магнетите и железе (МЖ-2), $R_z = 8,5$; 3 – МЖ на железе (МЖ-3), $R_z = 8,5$; 4 – МЖ на магнетите (МЖ-1), $R_z = 2,5$; 5 – МЖ на магнетите и железе (МЖ-2), $R_z = 2,5$; 6 – МЖ на железе (МЖ-3), $R_z = 2,5$; 7 – МЖ на железе (МЖ-1), $R_z = 0,6$; 8 – МЖ на магнетите и железе (МЖ-2), $R_z = 0,6$; 9 – МЖ на железе (МЖ-3), $R_z = 0,6$; 10 – ПЭС-5 без магнитного наполнителя, $R_z = 8,5$; 11 – ПЭС-5 без магнитного наполнителя, $R_z = 2,6$; 12 – ПЭС-5 без магнитного наполнителя, $R_z = 0,6$ (составлено авторами)

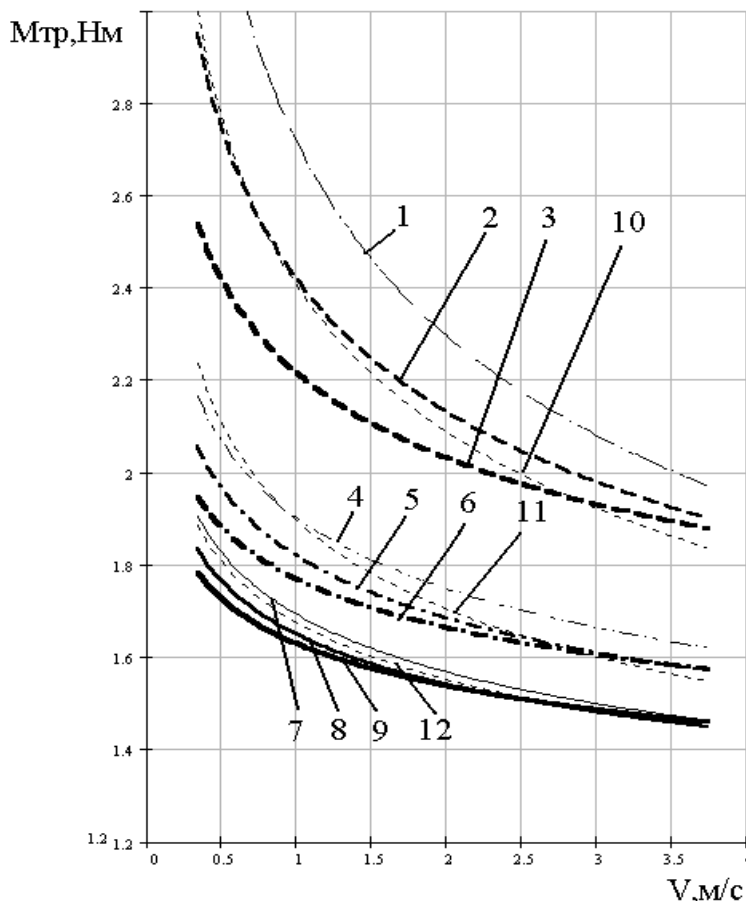


Рисунок 6. Зависимость момента трения от величины скорости скольжения при $B = 0,2$ Тл, $P_K = 2,203$ Н/см для жидкостей на ПЭС-5: 1 – МЖ на магнетите (МЖ-1), $R_Z = 8,5$; 2 – МЖ на магнетите и железе (МЖ-2), $R_Z = 8,5$; 3 – МЖ на железе (МЖ-3), $R_Z = 8,5$; 4 – МЖ на магнетите (МЖ-1), $R_Z = 2,5$; 5 – МЖ на магнетите и железе (МЖ-2), $R_Z = 2,5$; 6 – МЖ на железе (МЖ-3), $R_Z = 2,5$; 7 – МЖ на железе (МЖ-1), $R_Z = 0,6$; 8 – МЖ на магнетите и железе (МЖ-2), $R_Z = 0,6$; 9 – МЖ на железе (МЖ-3), $R_Z = 0,6$; 10 – ПЭС-5 без магнитного наполнителя, $R_Z = 8,5$; 11 – ПЭС-5 без магнитного наполнителя, $R_Z = 2,6$; 12 – ПЭС-5 без магнитного наполнителя, $R_Z = 0,6$ (составлено авторами)

Таким образом, на основании проеденных исследований установлено, что в магнитном поле наличие магнитного наполнителя позволяет снизить момент трения на 3-10 %. С увеличением магнитной индукции для магнитных жидкостей с различными магнитными наполнителями наблюдается уменьшение момента трения на 6-8 %. Форма частиц магнитного наполнителя не оказывает влияния на процесс трения при увеличении контактного давления. С возрастанием скорости скольжения снижается влияние на величину момента трения магнитного наполнителя.

ЛИТЕРАТУРА

1. Киселев В. В., Топоров А. В., Пучков П. В. Перспективы применения магнито-жидкостных устройств в пожарной и аварийно-спасательной технике Научные и образовательные проблемы гражданской защиты. 2010. № 2. С. 63-64.
2. Сайкин М. С., Топоров А. В., Топорова Е. А. Повышение пожарной безопасности химических производств применением магнито-жидкостных герметизаторов валов мешалок Пожаровзрывобезопасность. 2015. Т. 24. № 1. С. 55-60.
3. Уплотнения и уплотнительная техника: Справочник / А. А. Кондаков, А. И. Голубев, В. Б. Овандер и др.; Под общ. ред. А. И. Голубева, Л. А. Кондакова. – М.: Машиностроение, 1986. – 464 с., ил.
4. Топоров А. В., Кропотова Н. А., Колобов М. Ю. Исследование влияния магнитной жидкости на трение эластомерного материала по металлу Современные наукоемкие технологии. Региональное приложение №2 (50) 2017. – С. 86-90.
5. Farheen N. Sayed, Vivek Polshettiwar Facile and Sustainable Synthesis of Shaped Iron Oxide Nanoparticles: Effect of Iron Precursor Salts on the Shapes of Iron Oxides Scientific Reports 5, Article number: 9733 (2015).
6. Спиридонов А. А. Планирование эксперимента при исследовании технологических процессов. – М.: Машиностроение, 1981. – 184 с.
7. Сайкин, М. С. Магнито-жидкостные герметизаторы технологического оборудования: Монография. – СПб.: Издательство «Лань», 2017. – 136 с.

Toporov Aleksey Valerievich

IFRA of SFS of EMERCOM of Russia, Russia, Ivanovo
E-mail: ironaxe@mail.ru

Kiselev Vyacheslav Valerievich

IFRA of SFS of EMERCOM of Russia, Russia, Ivanovo
E-mail: slavakis76@mail.ru

Pokrovskiy Arkadiy Alekseevich

IFRA of SFS of EMERCOM of Russia, Russia, Ivanovo
E-mail: aapokrovsky@mail.ru

Legkova Irina Anatolievna

IFRA of SFS of EMERCOM of Russia, Russia, Ivanovo
E-mail: legkovai@mail.ru

Ivanov Vitaliy Evgenyevich

IFRA of SFS of EMERCOM of Russia, Russia, Ivanovo
E-mail: vitaliyivanov@yandex.ru

Research of the processes of work of combined magnetic-liquid seals of mechanical actuators

Abstract. Combined magneto-liquid seals can effectively solve the problems of separation of working media and sealing of bearing assemblies in devices of mechanical drives. In such seals, the magnetic fluid plays the role of working fluid and lubricant for rubbing parts. The most promising direction is the creation of combined magneto-liquid seals on the basis of lip seals.

In the lip seals, friction occurs in a rubber-metal pair. The article presents the results of studies of the friction process of elastomeric material (rubber) on steel surfaces, which have different processing purities when used as a lubricant for magnetic liquids when a magnetic field is applied.

To reduce the number of tests during the experiments, the method of mathematical design of experiments was used. The use of methods for optimal design of the experiment made it possible to minimize the number of measurements for constructing adequate models and to achieve a significant reduction in time and material costs for studying the process of friction of an elastomeric material over a metal.

In the course of the conducted studies, the influence on the process of friction in combined magneto-liquid seals with an elastomeric working element of factors such as the magnitude of the magnetic induction in the working gap, the sliding speed of the counterbody, the contact force is established.

Keywords: combined magneto-liquid seal; magnetic fluid; experiment planning; friction; drive; performance; magnetic field; experimental setup