

**Обратите внимание!**

**Статья отозвана (ретрагирована)**

**Статья**

**Сучилин, В. А.** Тюменев Ю.Я. К вопросу использования магнитной жидкости для смазки и герметизации узлов технических средств сферы быта / В. А. Сучилин, Ю. Я. Тюменев // Интернет-журнал «Отходы и ресурсы» Том 2, №1 (2015) <http://resources.today/PDF/04RRO115.pdf>

**отозвана (ретрагирована) редакцией журнала/автором в соответствии с правилами отзыва (ретракции) Интернет-журнала «Отходы и ресурсы»**  
<http://resources.today/retraction.html>

**В ходе дополнительной проверки выяснилось, что значительную часть статьи составляют некорректные заимствования из следующих публикаций:**

**Сучилин, В. А.** Применение магнитной жидкости в технологиях сервиса транспортных средств / В. А. Сучилин, И. Э. Грибут, С. А. Голиков // Электротехнические и информационные комплексы и системы. – 2011. – Т. 7, № 4. – С. 41-45.

**Сучилин, В. А.** Использование магнитной жидкости для смазки и герметизации узлов технических средств бытового обслуживания / В. А. Сучилин, Л. М. Мисюрин, С. А. Голиков // Электротехнические и информационные комплексы и системы. – 2012. – Т. 8, № 2. – С. 34-38.

**Редакция приносит извинения читателям за доставленные неудобства**

Интернет-журнал «Отходы и ресурсы» / Russian journal of resources, conservation and recycling <http://resources.today>

2015, Том 2, №1 / 2015, Vol 2, No 1 <http://resources.today/issues/vol2-no1.html>

URL статьи: <http://resources.today/PDF/04RRO115.pdf>

DOI: 10.15862/04RRO115 (<http://dx.doi.org/10.15862/04RRO115>)

**Ссылка для цитирования этой статьи:**

Сучилин В.А., Тюменев Ю.Я. К вопросу использования магнитной жидкости для смазки и герметизации узлов технических средств сферы быта // Интернет-журнал «Отходы и ресурсы» Том 2, №1 (2015) <http://resources.today/PDF/04RRO115.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ.

**For citation:**

Suchilin V.A., Tyumenev Yu.Ya. [The issue of using magnetic fluid for lubrication and sealing of the knots technical means of lifestyle] Russian journal of resources, conservation and recycling, 2015, Vol. 2, no. 1. Available at: <http://resources.today/PDF/04RRO115.pdf> (In Russ.)

УДК 546.722

**Сучилин Владимир Алексеевич**

ФГБОУ ВПО «Российский государственный университет туризма и сервиса», Россия, Москва  
Профессор кафедры «Сервисного инжиниринга»  
Доктор технических наук  
E-mail: SuchilinV@mail.ru

**Тюменев Юрий Якубович**

ФГБОУ ВПО «Российский государственный университет туризма и сервиса», Россия, Москва  
Профессор кафедры «Сервисного инжиниринга»  
Кандидат технических наук  
E-mail: mite1339@rambler.ru

## К вопросу использования магнитной жидкости для смазки и герметизации узлов технических средств сферы быта

**Аннотация.** В статье рассматриваются проблемы, связанные с герметизацией узлов трения в технических средствах бытового обслуживания. Показаны возможности смазывания и герметизации деталей узлов трения магнитными маслами. Дана методика оценки несущей способности магнитных масел.

**Ключевые слова:** магнитная жидкость; магнитные масла; магнитожидкостные герметизаторы; способ герметизации деталей

Магнитные жидкости (МЖ) - это высоко устойчивые коллоидные растворы твердых магнитных материалов, например магнетита, в различных жидкостях-носителях; их свойства определяются содержанием твердой магнитной составляющей, которая может достигать 25% от общего объема. Размер частиц магнитной составляющей 10-15 нм. В качестве жидкости-носителя могут использоваться вода, углеводороды, масла, кремнийорганические жидкости и др. Магнитные масла (ММ) – это магнитные жидкости, полученные на основе использования, например, машинных масел.

В настоящее время магнитные жидкости широко применяются в машиностроении:

- для герметизации вакуумных вводов (до 10 – 6 мм рт. ст.) вращательного движения, обеспечивают при этом надежную работу уплотнений в течение длительного времени (1 – 3 года) без замены рабочей жидкости;

- для смазки узлов трения, где важно удерживать смазку, предотвращая утечки и разбрызгивание ее;
- для повышения эффективности процесса механической обработки металлов, где МЖ будет являться технологической жидкостью и многих других случаях.

Магнитные смазочные масла также находят всё более широкое применение в различных узлах трения, и особенно, работающих в режиме гидродинамической смазки. Наиболее важными свойствами магнитного масла являются, несомненно, антифрикционные и противоизносные. Однако для реализации этих свойств необходимо, как правило, чтобы магнитное масло удовлетворяло определённым физико-химическим характеристикам, от которых в значительной степени зависят условия их применения в конкретных тех или иных узлах трения, а также важным является конструктивное исполнение самих сопрягаемых элементов в узлах трения.

Промышленное использование МЖ в качестве герметизирующей среды у нас в стране пока еще весьма ограничено, несмотря на явные технические ее преимущества по сравнению с традиционными уплотнениями. К таким преимуществам относятся:

- практически нулевые утечки герметизируемой среды при заданных условиях работы;
- отсутствие износа вала и низкие потери мощности двигателя вследствие чисто жидкостного трения в зазоре между подвижными и неподвижными элементами;
- отсутствие необходимости в смазке;
- простота технического обслуживания;
- незначительные эксплуатационные расходы.

Магнитно жидкостные герметики (МЖГ) сохраняют работоспособность в любом пространственном положении, в статическом и динамическом режимах, в условиях переменных и знакопеременных давлений и вибрационных воздействиях [1, 2].

В настоящей работе авторами проанализированы некоторые пути применения вакуумных МЖГ в условиях технических средств сферы бытового обслуживания.

К МЖ для вакуумной техники предъявляется ещё ряд специфических требований:

- МЖ должны иметь достаточно высокую намагничённость насыщения для уменьшения влияния центробежных сил при высоких скоростях вращения вала;
- МЖ должны иметь достаточно низкую вязкость в широком диапазоне рабочих температур для уменьшения разогрева МЖ в процессе работы, отрицательно влияющего на многие эксплуатационные характеристики МЖГ;
- МЖ должны обладать физико-химической совместимостью и химической инертностью относительно контактируемых сред и элементов конструкции МЖГ;
- МЖ должны иметь приемлемые технико-экономические показатели (относительно невысокую стоимость, недефицитность компонентов, технологичность изготовления) для возможности широкого промышленного применения;
- МЖ должны обладать низкой испаряемостью и низкой вязкостью.

Магнитные жидкости с подобными свойствами широко применяются для вакуумной техники американской фирмой «Ferrofluidics Corporation». Японская фирма «Мацумото юсисэй-якусэй», в частности, использует для вакуумных герметизаторов МЖ на основе алкилнафталина, давление паров которой составляет  $9 \cdot 10^{-8}$  мм рт. ст. при температуре  $20^{\circ}\text{C}$ . О значительных масштабах применения МЖ свидетельствует тот факт, что МЖ этой фирмы, известные под фирменным наименованием «Марпомагна», производятся в количестве порядка 8 тонн/год. Японская фирма «Тохоку киндзоку когё» применяет для вакуумных установок с разрежением до  $10^{-8}$  мм рт. ст. МЖ собственного изготовления также на основе алкилнафталина под названием «Ferricolloid NS-35A», обладающую высокой намагниченностью и низким давлением паров ( $7 \cdot 10^{-10}$  мм рт. ст. при  $20^{\circ}\text{C}$  и  $5 \cdot 10^{-3}$  мм рт. ст. при  $150^{\circ}\text{C}$ ). Японская фирма «Исикавадзима Харима» производит для вакуумных герметизаторов МЖ на основе другого производного нафталина - айкосилнафталина, давление паров которого составляет  $9 \cdot 10^{-8}$  мм рт. ст. при  $20^{\circ}\text{C}$ . [1]

Стабилизация коллоидной системы магнитных частиц в МЖ осуществляется с помощью поверхностно-активных веществ (ПАВ), поэтому в технологии получения высокостабильных МЖ важную роль играет правильный выбор ПАВ, которые должны хорошо адсорбироваться на поверхности коллоидных магнитных частиц и иметь химическое сродство к жидкой основе.

Традиционно применяемые стабилизаторы для магнитных МЖ - олеиновая кислота и другие жирные кислоты хорошо стабилизируют высокодисперсный магнетит в среде углеводородов и нефтяных масел, но не обеспечивают достаточной стойкости магнетита в вакуумных маслах, в щелочных и кислотных средах, при взаимодействии с жидкими средами, при повышенных или пониженных температурах.

Разработаны [2] технологии получения МЖ на различных основах: кремнийорганических жидкостях, минеральных и вакуумных маслах, эпоксидных смолах, лёгких углеводородах, а также МЖ с эффектом избирательного переноса, МЖ с магнитореологическим эффектом. В качестве стабилизаторов используются такие вещества, как природные нафтеновые кислоты (ПНК), синтетические нафтеновые кислоты (СНК), синтетические нефтяные кислоты (СНКД), «Асидол-2»,  $\alpha$ -метилциклогексенкарбоновая кислота ( $\alpha$ -МЦГКК).

В отличие от олеиновой кислоты перечисленные вещества характеризуются значительно более стабильными физико-химическими свойствами, а также отсутствием примесей, которые могли бы негативно повлиять на стабильность МЖ.

Как отмечалось выше МЖ узлах машин и механизмов может выполнять одновременно две функции: герметизацию и смазку рабочих поверхностей. Наличие в МЖ дисперсных частиц нанометровых размеров значительно улучшает смазывающие свойства жидкостей за счёт усиления как гидродинамического, так и граничного процесса смазки. Введение в МЖ добавок, инициирующих эффект избирательного переноса обеспечивает дополнительное улучшение и стабилизацию смазочных свойств МЖ, что, в свою очередь, приводит к значительному повышению надёжности узлов трения и расширению областей применения МЖ.

Результатом многолетних [2] научно-исследовательских работ стало получение высокостабильных, относительно недорогих МЖ на основе вакуумных масел и других жидкостей с низким давлением насыщенных паров, которые могут быть рекомендованы для применения в вакуумном оборудовании.

Способов получения магнитных жидкостей много. Одни основаны на размельчении железа, никеля, кобальта до сотых долей микрона с помощью мельниц, дугового или

искрового разряда, с применением сложной аппаратуры и ценой больших затрат труда. Можно воспользоваться другим способом, который разработали М.А. Лунина, Е.Е. Бибик и Н.П. Матусевич. Он основан на использовании химических реакций, результатом которых является, например, выпадение магнетита [2].

Важно отметить, что возможности расширения применения МЖ в машиностроении связывают с разработкой полимерных магнитов. Они появились в пятидесятых годах и, несмотря на очевидные преимущества, имели ограниченное применение, так их магнитные свойства были невысоки. Получают такие магниты, называемые также магнитопластами или, в зависимости от типа полимерного связующего, магнитоэластами, из композиционных материалов, содержащих магнитный наполнитель (магнитный порошок) и полимерное связующее. Низкие магнитные свойства полимерных магнитов первого поколения были связаны с тем, что магнитный наполнитель, используемый для их получения, требовал дополнительной высокотемпературной обработки изделий, (так называемой «вторичной ферритизации»). Невозможность такой операции для магнитов на полимерном связующем существенно снижали их магнитные характеристики.

Появление второго поколения полимерных магнитов связано с разработкой технологии получения магнитных наполнителей, высокотемпературного обжига изделий не требующей. Как следствие, производство магнитопластов и магнитоэластов стало развиваться опережающими темпами.

В отличие от традиционных магнитов, изделия из них легко обрабатываются, обладают высокой ударной прочностью, могут быть гибкими и эластичными. Только из таких материалов могут быть изготовлены магнитные профили с сечением сложной конфигурации, листовые магниты. Несомненное достоинство полимерных магнитов – возможность получения изделий высокопроизводительными методами, характерными для переработки пластмасс – литьём под давлением, экструзией, каландрованием. Благодаря этому их производство более экономично по сравнению с обычными керамическими или металлическими магнитами. Можно также отметить коррозионную устойчивость, возможность получать изделия сложной формы, например, типа зубчатых колес, изделия с резьбовыми отверстиями и т.д. При этом изделия отличаются высокой точностью и стабильностью размеров и магнитных параметров и не требуют дополнительной обработки.

Отмеченное тут позволит использовать МЖ и в оборудовании, применяемое в личном пользовании у населения. Это важно, т.к. сокращая время обслуживания домашней техники, продлевая срок службы ее, тем самым будет повышаться спрос на новые изделия, что приведет к росту доверия к отечественной технике и развитию отрасли.

В сфере бытового обслуживания применяются технические средства самой широкой номенклатуры. Это насосы различных типов, вентиляторы, пылесосы, полотеры, стиральные машины, аппараты химической чистки и еще многие десятки машин, агрегатов и механизмов. Вся эта техника имеет различную конструктивную сложность, значительно отличающиеся исполнительные механизмы и рабочие процессы, а также нагрузочные характеристики на детали и узлы. Данная техника имеет, как правило, привод в виде электродвигателя, отличающееся типом, конструкцией, мощностью и другими параметрами.

В связи с этим узлы трения отмеченной техники работают в различных условиях нагружения и смазывания сопряженных поверхностей деталей, что требует специфики конструктивного исполнения узлов трения и средств герметизации их. Так как негерметичные узлы трения более интенсивно изнашиваются по причине попадания в зону трения узлов посторонних частиц, например, абразивных, кроме того необходимо чаще подавать смазку в зону трения, так как ее сложно удержать длительно в зоне трения традиционными средствами



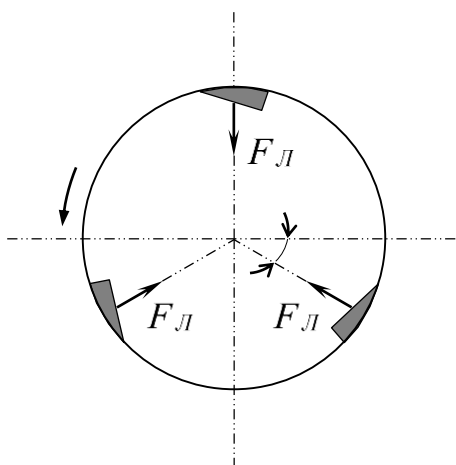
уплотнения данных узлов. В качестве уплотнения узлов трения чаще всего применяют такие материалы как резина, войлок и другие упругие материалы. В процессе эксплуатации технических средств происходит изнашивание уплотняющих прокладок и, естественно, отмечается потеря смазки по причине протечки ее, что приводит к загрязнению прилегающих деталей и механизмов.

Поэтому современным способом герметичности узлов трения может стать использование для этой цели и одновременно для смазывания сопряженных деталей магнитной жидкости. Этот способ важно использовать также и в процессе восстановления герметичности изношенных узлов трения, так как при этом не требуются значительных конструктивных изменений деталей узла. Главное в этом случае является рациональный выбор параметров формы и место расположения источника магнитного потока, предназначенного для удержания магнитной жидкости в узле трения. Естественно, указанные выше параметры формы и место положения конструктивных элементов магнитопроводов в узлах трения разной техники также будут отличаться, иногда весьма значительно.

В связи с этим для обеспечения надежной герметизации и работы каждого узла трения необходимо знать условия функционирования его в данной технической среде. Это важно, так как даже в одном и том же механизме узлы трения по-разному нагружены и имеют различные годографы сил, что отразится на работоспособности прослойки магнитной жидкости, обеспечивающей герметизацию узла.

Так, например, в стиральных машинах или машинах химической чистки и многих других годографы сил, действующих на узлы трения, имеют сложный вид, причем они меняются в зависимости от параметров рабочего процесса. В связи с этим рационально выбрать усредненную форму схемы нагружения узлов трения, т.е. воспользоваться инженерной интуицией, а работоспособность режима герметизации подтвердить на основе проведенного эксперимента.

На рис. 1 показана усредненная схема расположения максимальных значений сил реакций  $F_L$ , следовательно, и зон возможного максимального износа поверхности втулки узла трения. Очевидно, что в случае использования магнитной жидкости в качестве герметика и смазки узла трения в этих местах слой магнитной жидкости будет испытывать максимальные нагрузки. Хотя слой магнитной жидкости будет равномерно распределен по цилиндрической поверхности втулки, но расчет функционирования данного слоя необходимо проводить в зоне действия максимальных нагрузок.



**Рисунок 1.** Схема действия максимальной нагрузки на поверхность втулки

На рис. 1. показан адаптированный к отмеченным выше условиям функционирования узла трения. На радиальной поверхности узла трения в зоне действия сил  $F_L$  магнитная

жидкость будет испытывать значительные нагрузки. В данном случае важно знать несущую способность локальных пятен магнитной жидкости, так как основные нагрузки в отмеченных выше технических средствах располагаются в радиальном направлении.

Общая несущая способность локальных пятен на внутренней поверхности втулки будет равна векторной сумме несущих способностей всех пятен магнитной жидкости:

$$F_o = \sum F_{л} \cdot \cos \beta . \quad (1)$$

Несущая способность одного пятна магнитной жидкости может быть определена как гидродинамическая сила в масляном слое между пластинкой и движущейся плоскостью с учетом известного уравнения Рейнольдса (рис. 2).

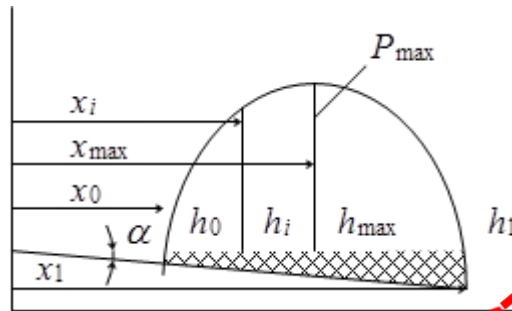


Рисунок 2. Схема распределения давления в слое магнитной жидкости

$$\frac{dp}{dx} = - 6 \mu \cdot v (x_1 - x_{max}) / h_i^2 , \quad (2)$$

где:  $p$  – давление в масляном слое;  $\mu$  – динамическая вязкость масла;  $v$  – скорость охватываемой детали узла трения (вала);  $x_1$  и  $x_{max}$  – соответственно, зазоры в произвольном сечении  $x_i$  и в сечении максимального давления  $x_{max}$ .

Из геометрических соотношений (рис. 2) следует:

$$h_i = \alpha \cdot x_i ; h_{max} = \alpha \cdot x_{max} ; h_0 = \alpha \cdot x_0 ; \alpha = dh_i / dx_i .$$

После подстановки полученных зависимостей в уравнение Рейнольдса и интегрирования получаем давление в виде функции

$$p = 6 \mu \cdot v (x_1 - x)(x - x_0) / \alpha^2 (x_0 + x_1) x^2 . \quad (3)$$

Несущая способность единицы длины в сечении пятна магнитной жидкости в результате интегрирования и введения безразмерных величин  $h_1/h_0 = x_1/x_0 = a$

$$F_{л} = \int_{x_0}^{x_1} p \cdot dx = (6 \mu \cdot v / \alpha^2) \cdot (\ln a - 2(a - 1) / (a + 1)) , \quad (4)$$

где  $\alpha = h_0 / x_0$ .

Заменяем в (4)  $\alpha$  на  $h_0 / x_0$  :

$$F_{л} = \frac{6 \mu \cdot v \cdot b^2}{h_0^2 (a - 1)} (\ln a - 2(a - 1) / (a + 1)) , \quad (5)$$

где  $b$  – размер пятна в направлении движения охватываемой детали.

Окончательно несущая способность одного пятна магнитной жидкости

$$F_{\text{пл}} = 0,05 \mu \cdot n \cdot d \cdot h \cdot b^2 \cdot C_h \left( \Delta^2 (1 + \chi \cdot \cos \beta)^2 \right), \quad (6)$$

где:  $d$  – диаметр охватываемой детали;  $h$  – ширина втулки;  $n$  – частота вращения вала;  $\Delta$  – диаметральный зазор;  $\chi$  – относительный эксцентриситет втулки и вала;  $C_h = 1,25 / (1 + (b/h)^2)$  – поправка по Штибелю.

Варьируемым параметром в данной формуле будет динамическая вязкость магнитной жидкости  $\mu$ , которую будем считать постоянной и равной вязкости индустриального масла с учетом степени наполнения его магнитными частицами, на основе которых может создаваться магнитная жидкость, например в среднем:  $\mu = 2,55 \times 10^{-2} \text{ Н} \cdot \text{с} / \text{м}^2$ .

Как отмечалось выше узлы трения в технических средствах сферы быта весьма различны по конструкции, размерным параметрам, условиям функционирования и нагрузочным характеристикам. Следовательно, приведенная методика оценки несущей способности магнитного слоя, разделяющего сопряженные детали узла, всегда будет иметь специфический подход в оценке работоспособности его, что может потребовать экспериментальной проверки. Особенно герметичности узла, т.к. несущая способность магнитной жидкости в радиальном направлении данного конкретного узла не позволяет гарантированно знать степень корреляции ее с уровнем герметичности в осевом направлении. Для этой цели необходимо экспериментальная установка, что и планируется выполнить в ближайшее время авторами.

На основе приведенных схем применения МЖ в узлах трения можно отметить, что в автомобильной технике и других транспортных средствах использовать приведенный принцип герметизации возможно практически во всех системах и агрегатах.

В заключении надо отметить, что конструктивное исполнение устройств, позволяющих применять МЖ для герметизации различных агрегатов, например, для автомобильной техники еще только предстоит разработать. Хотя в этой области применительно к другим техническим средствам у нас есть определенный опыт [3-6].

## ЛИТЕРАТУРА

1. Портал «Магнитные жидкости» // [www.magneticliquid.narod.ru](http://www.magneticliquid.narod.ru).
2. Фертман В.Е. Магнитные жидкости. М.: Высшая школа, 1988, 184 с.
3. Сучилин В.А. Шарнирное соединение: А.с. 1807266, 1993.
4. Сучилин В.А. Челнок швейной машины. Патент РФ № 2070239, Бюл. №34, 1996.
5. Сучилин В.А. Применение магнитной жидкости в узлах трения. «Вестник машиностроения», №9, 1997, с. 52-53.
6. Сучилин В.А. и др. магнитной жидкости в технологиях сервиса транспортных средств // Электротехнические и информационные комплексы и системы. 2011. №4, т.7. С. 41-45.



**Suchilin Vladimir Alekseevich**

Russian state university of tourism and service, Russia, Moscow  
E-mail: SuchilinV@mail.ru

**Tyumenev Yuriy Yakubovich**

Russian state university of tourism and service, Russia, Moscow  
E-mail: mite1339@rambler.ru

## The issue of using magnetic fluid for lubrication and sealing of the knots technical means of lifestyle

**Abstract.** The article discusses the problems associated with sealing the friction in the technical means of consumer service. The possibilities of lubricating and sealing of parts of friction units of magnetic oils. Given the method of evaluating the bearing capacity of the magnetic oils.

**Keywords:** magnetic fluid; magnetic oil magnetic liquid de-meistari; a method of sealing parts

### REFERENCES

1. Portal «Magnitnye zhidkosti» // [www.magneticliquid.ru](http://www.magneticliquid.ru).
2. Fertman V.E. Magnitnye zhidkosti. M.: Vysshaya shkola, 1988, 184 s.
3. Suchilin V.A. Sharnirnoe soedinenie: A s. 1807266, 1993.
4. Suchilin V.A. Chelnok shveynoy mashiny. Patent RF № 2070239, Byul. №34. 1996.
5. Suchilin V.A. Primenenie magnitnoy zhidkosti v uzlakh treniya. «Vestnik mashinostroeniya», №9, 1997, s. 52-53.
6. Suchilin V.A. i dr. magnitnoy zhidkosti v tekhnologiyakh servisa transportnykh sredstv // Elektrotekhnicheskie i informatsionnye komplekсы i sistemy. 2011. №4, t.7. S. 41-45.