

□ Автор статьи:

Старовойтов
Владимир Алексеевич
- канд. техн. наук, доц. каф. электро-
привода и автоматизации

УДК 621.822.538.4

В.А. Старовойтов

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МАГНИТНЫХ ЖИДКОСТЕЙ ДЛЯ ГЕРМЕТИЗАЦИИ ВРАЩАЮЩИХСЯ ЧАСТЕЙ

Спектр технических решений, в которых используется уникальные свойства магнитных жидкостей (МЖ) достаточно широк [1-4]. Не последнее место среди них занимает высокогерметичные вводы движения и вращающиеся валы в частности. В последнем случае они выполняют роль автономных радиальных или торцевых уплотнений машин и аппаратов, одинаково хорошо работающих как в статике так и динамике. Формально относясь к классу контактных они работают в режиме жидкостного (при больших концентрациях - полужидкостного) трения и меньше изнашиваются.

Номенклатура уплотняемых ими сред может быть весьма разнообразна как по виду веществ, так и их агрегатному состоянию.

Известные литературные данные посвящены вопросам герметизации лишь газовых нейтральных сред (азот, воздух, инертные газы), в то время как применительно к машинам и аппаратам химтехнологии интерес представляют и жидкостные системы, в т.ч. агрессивные.

Естественно, при этом возникают сложные вопросы взаимодействия двух систем, одна из которых – МЖ, представляющая собой трёхкомпонентную гетерогенную композицию, состояние которой в немалой степени определяется наличием магнитного поля. Находящаяся же с ней в контакте рабочая (уплотняемая) среда взаимодействует по поверхности раздела, форма и размеры которой зависят от множества факторов.

Степень влияния некоторых из них на работоспособность магнито-жидкостных уплотнительных устройств (МЖУ) исследовалась на установке, схема которой представлена на рис.1.

В качестве объекта исследований выбрано одноступенчатое МЖУ, состоящее из двух кольцевых полюсов (1, 3), магнитопровода (2) и катушки возбуждения (10). Концентрично с расточкой полюсов размещается вращающийся вал (5) диаметром 50 мм, являющийся одновременно элементом магнитной системы. Зазор между валом и одним из полюсов заполняется МЖ (4) герметизирующей неподвижную рабочую камеру (8), заполняемую газом или жидкостью через патрубок (6). Диамагнитная камера снабжена

змеевиком для охлаждения или подогревания

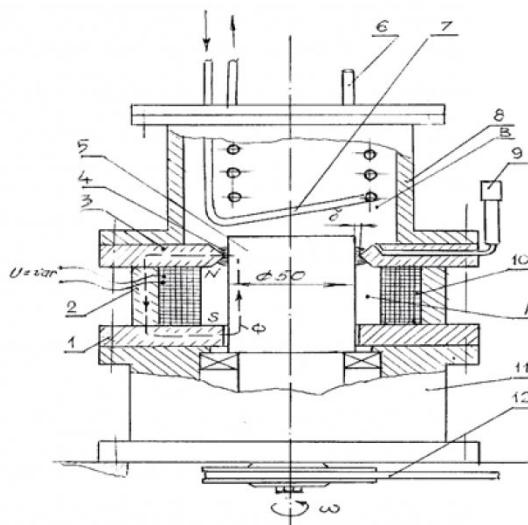


Рис. 1. Схема экспериментальной установки: 1, 3 – полюс кольцевой; 2 – магнито-провод; 4 – магнитная жидкость; 5 – вал; 6 – штуцер подвода рабочей среды; 7 – змеевик; 8 – корпус рабочей камеры; 9 – лубрикатор; 10 – катушка возбуждения; 11 – станина; 12 – клиновременная передача; А – атмосфера; В – полость рабочей камеры

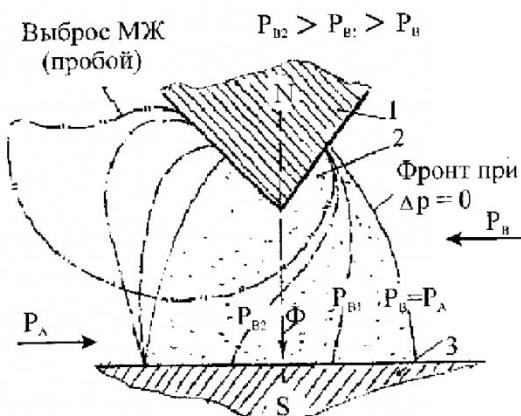


Рис. 2. Плоская модель рабочей зоны МЖУ: 1 – полюсный наконечник; 2 – магнитная жидкость; 3 – плоская пластина

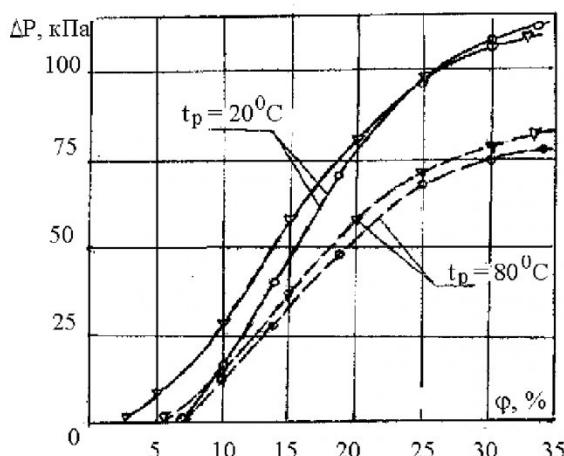


Рис. 3. Статические характеристики МЖУ($\omega=0$) для МЖ на основе: ∇ - керосина; \circ - масла вакуумного

рабочей среды, температура которой поддерживается автоматически. Регулируемый электропривод обеспечивает вращение вала в диапазоне скоростей $\omega = 0 \div 500$ рад/с. Вертикальное исполнение МЖУ позволяет обеспечить равенство гидростатического давления жидкой среды в зоне её контакта с МЖ.

Исследовались два типа МЖ, в которых дисперсной средой служили коллоидные частицы оксида железа Fe_3O_4 , стабилизированные олеиновой кислотой $\text{C}_{18}\text{H}_{33}\text{COOH}$, а в качестве дисперсионной среды использовался керосин или вакуумное масло ВМ-6.

Начальная объёмная концентрация феррофазы достигала $\varphi = 35$, а её уменьшение производилось за счёт добавления жидкости носителя.

Статистические характеристики. В общем случае величина объёмной силы f , создаваемая магнитным потоком Φ и противостоящая перепаду давлений $\Delta p = p_a - p_e$ зависит от множества

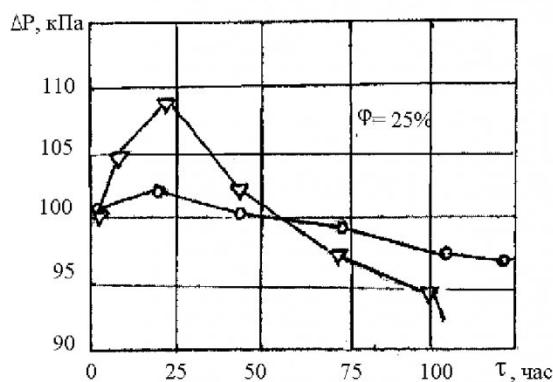


Рис. 4. Влияние вакуума на работоспособность МЖУ: ∇ - МЖ на основе керосина; \circ - МЖ на основе ВМ-6

факторов. Для устранения некоторых из них были проведены эксперименты на неподвижных узлах и, прежде всего, плоской модели рабочей зоны МЖУ (рис. 2).

Последние позволили определить, что при постоянстве напряженности магнитного поля форма свободной поверхности массива МЖ определяется величиной приложенного $\Delta p = p_a - p_e$. Заметно, что её деформация происходит с одновременным смещением по всему фронту действия сил давления. При этом максимальное смещение происходит в области с преимущественно плоскопараллельным участком магнитного поля, где толщина массива резко уменьшается при одновременном накапливании МЖ в зоне существен-

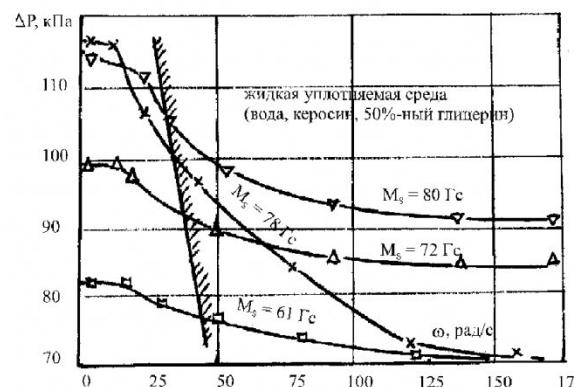


Рис. 5. Скоростные характеристики МЖУ с МЖ на основе: Δ, ∇, \square - керосина; X - масла вакуумного

но-неоднородного поля. Именно в узком участке и происходит пробой МЖУ с выбросом МЖ в виде факела. Для улучшения визуализации картины поведения МЖ, в последнюю добавлялись железные опилки.

Полученная картина пробоя характерна при всех концентрациях МЖ как для газа, так и для жидкости (вода), с помощью которых организовывалось давление p_e . Влияние концентрации феррофазы в МЖ на величину удерживаемого перепада давления для кольцевого массива в МЖУ при $\omega=0$ показано на рис. 3.

Как видно из рисунка с увеличением φ возрастает и Δp . Действительно, плотность упаковки феррофазы МЖ возрастает и продавливание дисперсионной фазы через систему всё уменьшающихся промежутков затрудняется. При этом влияние свойств дисперсионной среды заметно лишь при малых φ .

Вместе с тем повышение температуры МЖ существенно ухудшает эксплуатационные характеристики МЖУ. Так повышение температуры до 80°C (штриховые линии на рис. 3) вызывает снижение Δp в среднем на $25 \div 30\%$.

Это обстоятельство весьма немаловажно, т.к. при вращении вала диссипативные тепловыделе-

ния в МЖ могут достигать больших значений. Нагреву может также способствовать и горячая рабочая среда.

Кроме чисто температурного фактора на работоспособность МЖУ оказывает влияние и наличие вакуума в рабочей камере.

Вакуумирование рабочей камеры до $p_e = 133$ Па (рис. 4) показало, что величина Δp сначала несколько возрастает (следствие увеличения φ), а затем падает вплоть до пробоя МЖУ. При этом наиболее резкое падение Δp происходит у МЖ на основе керосина, который более летуч, чем пары масла.

Динамические характеристики. Наибольший практический интерес представляют характеристики МЖУ при вращении вала. В этом случае вступают в действие инерционные силы, силы трения и механизм термодинамической конвекции, существенно осложняющие гидродинамическую обстановку в рабочей зоне МЖУ и, следовательно, определенным образом влияющие на его работоспособность.

На рис. 5 представлены зависимости, характеризующие влияние скорости вращения вала ω на величину Δp при различных концентрациях феррофазы $\varphi = 20 \div 32$ и намагниченности насыщения $Ms = 60 \div 80$ Гс.

Заметный излом в зоне малых скоростей, очевидно, связан с началом влияния центробежных сил на МЖ. В этой же зоне диссипативные потери не вызывают заметного роста температуры. При возрастании ω для стабилизации температуры МЖ использовалась вода, находящаяся в непосредственном контакте с ней.

При скоростях > 50 рад/с заметным становится появление на поверхности воды плёнки керосина, чего при $\omega = 0$ не наблюдалось, хотя плотности жидкостей существенно различны. С ростом

скорости вращения толщина пленки сначала увеличивается, а затем стабилизируется. Процесс уноса дисперсионной среды МЖ можно объяснить как возросшими инерционными силами, так и силами трения на поверхности соприкосновения сред. Кроме того нельзя исключать и наличие волнообразования (пульсаций) из-за всегда имеющего место эксцентрикитета вала, действующего как своеобразная мешалка в рабочей среде.

Следует отметить, что унос наиболее слабо связанный с ферромагнитной структурой части дисперсионной среды не является определяющим фактором для величины удерживаемого перепада давления Δp , т.к. замена в рабочей камере воды на керосин (50% глицерин) даёт тот же характер зависимостей при практически одинаковых численных значениях. Унос феррофазы в экспериментах не был обнаружен. Реакция плёнки на постоянный магнит нейтральна.

В техническом плане как восполнение уноса дисперсионной среды, так и заправка (зарядка) МЖ МЖУ не представляет сложностей, т.к. инъекция любой из них хотя бы в одну точку в рабочей зоне вызывает почти мгновенное распределение жидкостей в кольцевом зазоре.

Исследования показали, что герметизация рабочего объема, заполняемого как газовыми, так и жидкостными средами с помощью которых МЖУ практически абсолютна.

Для расширения номенклатуры рабочих сред, способных работать в контакте с МЖ необходимы дальнейшие исследования. Одним из путей в этом направлении является синтез МЖ на соответствующих жидкостях-носителях, число которых не ограничено.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Пластинина Э.Н., Мозгина В.И. Феррофлюиды и их применение. // Холодильная техника, 1973, № 10, с. 87-92.
- Lutset M.O., Starovoitov V.A. Application of magnetfluid seals for high-speed rotating cryostats // Cryogenics, June, 1979, p. 333-334.
- Старовойтов В.А. Особенности применения МЖУ для герметизации поступательного движения // Магнитная гидродинамика, 1984, № 2, с. 58-61.
- Старовойтов В.А., Петрик П.Т. К вопросу о феррофлюидном охлаждении электрических машин // Известия Вузов, сер. электромеханики, 1982, № 7, с. 98-103.

□ Автор статьи:

Старовойтов
Владимир Алексеевич
- канд. техн. наук, доц.
каф. электропривода и
автоматизации