

УДК 62-762.6

Д. БАТМАНОВ, А. ДЖОРАЕВ

*Государственный энергетический институт Туркменистана, Мары,
Туркменистан*

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ МАГНИТОЖИДКОСТНОГО УПЛОТНЕНИЯ

Приведены результаты экспериментов, в которых анализировалось снижение разности давлений между изолированным объемом и окружающей средой в случае применения магнитожидкостного уплотнения. Показана перспективность применения такого уплотнения в насосах.

Ключевые слова: вращающийся вал, магнитожидкостное уплотнение, магнито-реологическая жидкость, избыточное давление.

При эксплуатации машин существует необходимость удержания смазочных жидкостей между подвижными и неподвижными деталями: например, валом, который совершает вращательное движение, и корпусом. Для этого используются уплотняющие устройства, которые подразделяются на две основные группы: контактные и бесконтактные.

В современных машинах используются, главным образом, контактные уплотнения: торцовые и радиальные, фетровые (войлочные), манжетные, сальниковые и т. д. [1–3]. Также в технологических агрегатах и ином оборудовании применяются бесконтактные гидродинамические уплотнения (рисунк 1) [4–6]. В зависимости от принципа действия и конструктивных особенностей их подразделяют на щелевые, винтовые (винтоканавочные), лабиринтные (осевые и лабиринтно-винтовые), радиальные (импеллерные), уплотнения с маслоотгонными винтовыми втулками в виде многозаходной резьбы, маслоотражательные кольца, динамические гидрозатворы и т. д. Кроме того, для удержания смазки делают кольцевые проточки.

Принцип действия большинства гидродинамических уплотнений состоит в возвращении вытекающей по уплотнительному зазору жидкости в уплотняемую полость радиальным или осевым импеллером [7, 8], в качестве которого используют рабочее колесо центробежного насоса (радиальный импеллер), либо иные специально разработанные детали. Основным элемент винтоканавочного уплотнения – винтовая нарезка на валу или на корпусе, особенностью которой является ее большая длина. Для лабиринтно-винтовых уплотнений характерны винтовые нарезки на валу и корпусе, выполненные в противоположных направлениях. Более надежными, по сравнению с канавочными, считаются уплотнения лабиринтного типа, в которых зазору между вращающимися деталями придается зигзагообразная форма. В таких уп-

лотнениях рабочая среда герметизируется за счет дросселирования ее при движении через последовательно расположенные сужения. Как и щелевые уплотнения, они не обеспечивают полной герметичности.

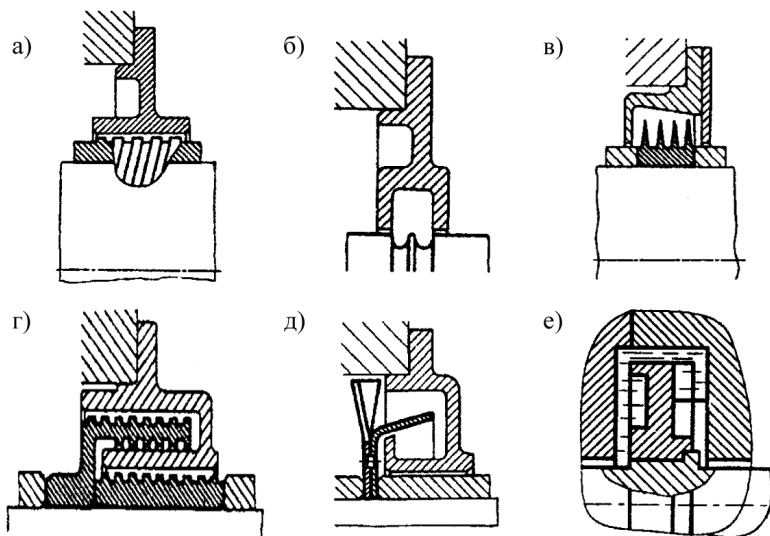


Рисунок 1 – Бесконтактные динамические уплотнения [6]:

- a* – отгонной резьбой; *б* – дисковое (гребешковое); *в* – многодисковое;
г – лабиринтное винтовое (вихревое); *д* – с коническим диском и крыльчаткой;
е – центробежное (импеллерное)

Магнитожидкостные уплотнения (МЖУ) отличаются от традиционных устройств тем, что в них роль уплотняющего элемента выполняет магнитная жидкость. При наложении магнитного поля частицы такой жидкости выстраиваются вдоль силовых линий поля в цепочки, резко увеличивая вязкость в направлении, перпендикулярном направлению магнитного поля [9]. Впервые такие уплотнения нашли применение в космической технике [10]. В настоящее время они используются в радиоэлектронной, авиационной и других отраслях промышленности. Преимущества МЖУ наиболее сильно проявляются при герметизации вращающихся валов. Такие уплотнения практически не изнашиваются, создают весьма малый момент трения, нечувствительны к погрешностям изготовления герметизируемых деталей, не требуют обслуживания. Типичной областью их применения является уплотнение вводов вращения вакуумного технологического оборудования. Надежность и высокий уровень герметичности, обеспечиваемый МЖУ, делает их все более востребованными в машинах, к которым предъявляются высокие требования по стерильности.

Рабочим элементом МЖУ являются ферромагнитные жидкости, которые представляют собой коллоидные системы, состоящие из ферромагнитных или ферримагнитных частиц нанометровых размеров (обычный размер 10 нм или меньше) материала, содержащего железо, взвешенных в несущей жидкости [11]. Частицы не оседают в нормальных условиях из-за броуновского движения. Для обеспечения устойчивости такой жидкости ферромагнитные частицы связываются с поверхностно-активным веществом, образующим защитную оболочку вокруг частиц и препятствующим их слипанию из-за Ван-дер-Ваальсовых или магнитных сил. Это вещество с течением времени распадается, поэтому через 2–5 лет жидкость теряет свои магнитные свойства [12].

Ферромагнитные жидкости с микрометровыми размерами частиц (от 0,1 до 100 мкм) называют магнитореологическими жидкостями. В них частицы слишком тяжелы, чтобы броуновское движение поддерживало их во взвешенном состоянии, поэтому они со временем оседают из-за естественной разности в плотности частиц и несущей жидкости.

Магнитореологические жидкости используются для создания жидких уплотнительных устройств вокруг вращающихся осей [13–15]. Нами создана опытная установка, позволяющая исследовать работу МЖУ, обеспечивающего герметичность корпуса машины. Ее схема приведена на рисунке 2. Вращающийся вал 6 окружен кольцевым магнитом 2. В зазор между магнитом и валом помещено небольшое количество магнитореологической жидкости 3, которая удерживается магнитным полем. Помимо уплотнения такая жидкость способна снижать трение. Нанесенная на поверхность достаточно мощного магнита, она позволяет ему скользить по гладкой поверхности втулки 4 с минимальным сопротивлением.

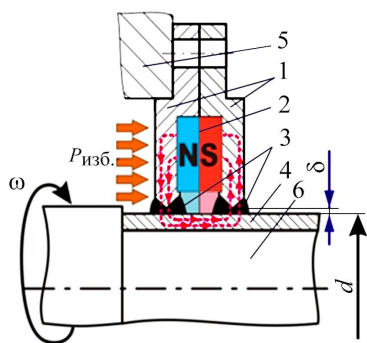


Рисунок 2 – Схема экспериментальной установки:

1 – корпус МЖУ; 2 – постоянные магниты; 3 – магнитореологическая жидкость; 4 – защитная втулка; 5 – корпус машины; 6 – вал машины

Диаметр защитной втулки в опытной установке составил $d = 22,26$ мм. Она была изготовлена из стали марки 40Х механической обработкой с последующей термообработкой. Затем с целью снижения шероховатости поверхность втулки обработали шлифованием.

В нашей работе использованы магнитореологические жидкости, состоящие из ферромагнитного материала феррита марки 400НН и 600НН, который используется в качестве сердечника катушек индуктивности радиоэлек-

тронных устройств, с размерами частиц 0–50 мкм и 50–100 мкм. В качестве несущей жидкости использовали этиленгликоль и глицерин.

Эксперименты выполнены для двух угловых скоростей вращения вала, которым соответствовали частоты вращения $n_1 = 970$ об/мин и $n_2 = 1460$ об/мин. Сохранялось постоянным значение зазора $\delta = 40$ мкм между втулкой и дисками, являющими полюсами постоянного магнита.

При испытании из корпуса машины был откачан воздух. При этом создан начальный перепад давления (вакуум) $P_{\text{изб}} = 80$ кПа по сравнению с окружающим пространством. Исследовалось, насколько интенсивно изменяется перепад давлений внутри машины и снаружи нее в зависимости от времени.

В результате измерений получен график, представленный на рисунке 3. Из него видно, что наибольшее уменьшение перепада давления наблюдалось в течение первых 30 минут испытания. В дальнейшем скорость изменения давления уменьшилась до 0,03 кПа в час. Таким образом, проведенное испытание показало хорошую работоспособность испытываемого уплотнения.

Эксперимент также показал, что увеличение частоты вращения вала с 970 до 1460 об/мин ведет к увеличению перепада давления на 8–10 %.

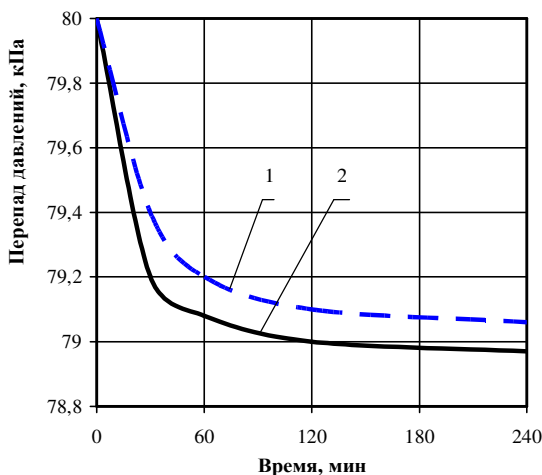


Рисунок 3 – Зависимость, характеризующая удержание перепада давления от времени при использовании частиц феррита марки 400НН размерами 50–100 мкм и несущей жидкости этиленгликоль

Опытная установка (см. рисунок 2) является одноступенчатым МЖУ с магнитореологической жидкостью. Для удержания больших давлений необходимо последовательно установить несколько ступеней МЖУ. В дальнейшем многоступенчатые МЖУ с магнитореологической жидкостью планируется использовать в конструкциях различных насосных изделий, которые выпускаются на Марыйском машиностроительном заводе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 **Иванов, М. Н.** Детали машин : учеб. для студентов высших технических учебных заведений / М. Н. Иванов, В. А. Финогенов. – М. : Абрис, 2013. – 407 с.
- 2 **Гулиа, Н. В.** Детали машин : учеб. / Н. В. Гулиа, В. Г. Клоков, С. А. Юрков. – СПб. : Лань, 2010. – 414 с.
- 3 **Голубев, А. И.** Уплотнения машин и механизмов / А. И. Голубев, Е. И. Пятигорская. – М. : Изд-во МЭИ, 2001. – 67 с.
- 4 **Комиссар, А. Г.** Библиотека конструктора. Уплотнительные устройства опор качения. Справочник / А. Г. Комиссар. – М. : Машиностроение, 1980. – 192 с.
- 5 **Марцинковский, В. А.** Бесконтактные уплотнения роторных машин / В. А. Марцинковский. – М. : Машиностроение, 1980. – 200 с.
- 6 Справочник конструктора : справ.-метод. пособие / Б. П. Белозеров [и др.] ; под ред. И. И. Матюшева. – СПб. : Политехника, 2006. – 1025 с.
- 7 **Макаров, Г. В.** Уплотнительные устройства / Г. В. Макаров. – Л. : Машиностроение, 1973. – 232 с.
- 8 Методика расчета импеллерного уплотнения с использованием обобщенных эмпирических соотношений / С. Г. Валюхов [и др.] // Вестник Воронежского государственного технического университета. – 2009. – Т. 5, № 6. – С. 127–130.
- 9 Intelligence in Novel Materials / R. Bhavsar [et al.] // Oilfield Review. – 2008. – Vol. 20, № 1. – P. 32–41.
- 10 Использование магнитных материалов в космической технике / А. Ю. Колобов [и др.] // Наука и образование. – 2009. – № 5. – С. 15–18.
- 11 **Бессараб, М. В.** Ферромагнитная жидкость, перспективы ее применения / М. В. Бессараб, Т. В. Горячева // Дні науки – 2015 : збірник матеріалів VII регіональної науково-практичної конференції, 21–22 травня 2015 р. : У 2 т. – Красноармійськ : КП ДонНТУ, 2015. – Т. 1. – С. 89–91.
- 12 Применение магнитореологических жидкостей в машиностроении / Б. А. Гордеев [и др.] // Приволжский научный журнал. – 2014. – № 4 (32). – С. 29–41.
- 13 **Перминов, С. М.** Исследование магнитожидкостного уплотнения немагнитного вала классического типа / С. М. Перминов, А. С. Перминова // Вестник Ивановского государственного энергетического университета. – 2013. – № 4. – С. 41–46.
- 14 Wear Testing of Seals in Magneto-Rheological Fluids / V. R. Iyengar [et al.] // Tribology Transactions. – 2004. – Vol. 47, Is. 1. – P. 23–28.
- 15 **Kordonski, W. I.** Magnetorheological fluid-based seal / W. I. Kordonski, S. R. Gorodkin // Journal of intelligent material systems and structures. – 1996. – Vol. 7, № 5. – P. 569–572.

D. BATMANOV, A. DZHORAEV

State Power Engineering Institute of Turkmenistan, Mary, Turkmenistan

EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF THE MAGNETIC-LIQUID SEAL WORK

There are given the experimental results for the analysis of the pressure difference between an isolated volume and the environment in the case of a magneto-liquid seal. The prospects of using such a seal in pumps are shown.

Получено 07.04.2016