

УДК 677.057+614.8

DOI 10.47367/0021-3497_2022_3_229

**ИЗУЧЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК
КОМБИНИРОВАННОГО МАГНИТОЖИДКОСТНОГО УПЛОТНЕНИЯ
НАСОСНОГО ОБОРУДОВАНИЯ**

**PERFORMANCE CHARACTERISTICS STUDY
OF THE COMBINED MAGNETIC-LIQUID
PUMPING EQUIPMENT SEALING**

А.П. СИЗОВ, М.А. КОЛБАШОВ, В.А. КОМЕЛЬКОВ, О.Г. ЦИРКИНА, А.Х. САЛИХОВА

A.P. SIZOV, M.A. KOLBASHOV, V.A. KOMELKOV, O.G. TSIRKINA, A.KH. SALIKHOVA

(Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России)

(Ivanovo Fire and Rescue Academy of the State Fire Service of the Ministry of the Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters)

E-mail: kafppv@mail.lru; kolbashov@mail.ru; komelkov@rambler.ru; ogtsirkina@mail.ru; salina_77@mail.ru

Исследование посвящено изучению эксплуатационных характеристик разработанного комбинированного магнитожидкостного уплотнения для насосов, применяемых при подаче жидких сред, в том числе в технологические аппараты и поточные линии отделочного производства текстильной отрасли промышленности. Приведена методика изучения основных эксплуатационных характеристик комбинированного магнитожидкостного уплотнения и экспериментальный стенд, с помощью которого определялись моменты трения при использовании различных магнитных жидкостей и поведение набивки при различных условиях эксплуатации. В ходе экспериментального исследования выявлено, что надежность и долговечность работы насосного оборудования, герметизированного с использованием магнитожидкостного уплотнителя, зависит от состава магнитной жидкости; качества подготовки трущихся поверхностей (шероховатости); а также величин магнитной индукции, контактного усилия и скорости скольжения. Результатом проведенной работы явилось усовершенствование комбинированного магнитожидкостного уплотнения, которое может быть использовано в насосном оборудовании отделочного производства текстильной отрасли, а также в химической промышленности в целом.

The article is devoted to the study of the combined magnetic fluid seal performance characteristics for pumps used in the supply of liquid media, including technological devices and flow lines of finishing production in the textile industry. A

method for studying the main operational characteristics of a combined magnetic-liquid seal and an experimental stand for determining the frictional moment, used to determine the frictional moment when using various magnetic fluids and the behavior of the packing behavior under various operating conditions, are presented. In the course of the experimental study it was revealed that the reliability and durability of the pumping equipment, hermetically sealed with the magnetic fluid sealant, depends on the composition of the magnetic fluid; the quality of rubbing surfaces (roughness) preparation; as well as the values of magnetic induction, contact force and sliding speed. The result of this work was the development of a combined magnetic-liquid seal, which can be used in pumping equipment of the finishing production of the textile industry, as well as in the chemical industry in general.

Ключевые слова: насосное оборудование, герметичность уплотнения, комбинированное магнитожидкостное уплотнение, смазочный материал, момент трения, шероховатость поверхности, магнитная индукция, скорость скольжения.

Keywords: pumping equipment, seal tightness, combined magnetic-liquid seal, lubricant, frictional moment, surface roughness, magnetic induction, sliding speed.

Введение

Производственный цикл изготовления текстильных материалов состоит из трех этапов. Заключительным этапом получения текстильного полотна является отделочное производство, которое включает разнообразные физико-механические и химические технологические процессы, в результате чего из суровья получают готовую ткань, соответствующую своему назначению по структуре и внешнему виду. Отделка ткани в глубоком смысле этого понятия заключается в следующих процессах: подготовка к колорированию, крашение, печатание и заключительные операции облагораживания тканей. Перечисленные процессы связаны с применением различных растворов кислот, щелочей, солей металлов, органических соединений и широким спектром технологических растворов и составов для обработки волокон или тканей. Спецификой отделочного производства является возможность организации технологических процессов, как по периодической, так и по непрерывной схеме, каждая из которых требует постоянной и равномерной подачи растворов различного химического состава.

При реализации процессов отделочного производства, связанных с «мокрой» обработкой материалов, для обеспечения пода-

чи жидких технологических сред в состав схем оборудования обязательно включены насосы и насосные агрегаты, которые должны соответствовать требованиям безопасности национальных стандартов, действующих нормативных документов на оборудование конкретного типа с учетом области их применения. Конструкция насосов и насосных агрегатов должна соответствовать уровню степени риска при эксплуатации, т.е. должны быть исключены факторы пожарной опасности и токсического воздействия на персонал производственных цехов при утечке технологических растворов.

Насосное оборудование выбирается, исходя из свойств подаваемого продукта, его вязкости, химического состава и температуры. Материалы, из которых выполнен насос, должны быть полностью совместимы: важно грамотно подобрать материалы корпуса и торцевые уплотнения для обеспечения бесперебойной работы производства в течение длительного срока. Немаловажную роль при этом играет материал уплотнителей. В технике широко применяются сальниковые уплотнения, используемые для герметизации различных соединений, в том числе вращающихся валов. Основным недостатком таких уплот-

нений является износ сальниковой набивки и вследствие этого потеря герметичности уплотнения. Такой тип герметизации валов используется в насосах консольного типа, широко распространенных в текстильной промышленности.

Для исключения недостатков традиционных уплотнителей в представленной работе предложено использовать комбинированное магнитожидкостное уплотнение (МЖУ), которое позволяет объединить в себе достоинства традиционных и магнитожидкостных уплотнений.

Создание новых конструкций магнитожидкостного уплотнения связано с изучением свойств магнитной системы, распределением магнитного поля, технологических вопросов изготовления МЖУ, поэтому представленная работа является актуальной [1].

Основой МЖУ является ферромагнитная жидкость, представляющая собой коллоидную систему, из ферромагнитных частиц нанометровых размеров, находящихся во взвешенном состоянии в несущей жидкости, в качестве которой обычно выступает органический растворитель или вода. Для обеспечения устойчивости такой жидкости ферромагнитные частицы связываются с поверхностно-активным веществом, образующим защитную оболочку вокруг частиц и препятствующем их слипанию из-за ван-дер-ваальсовых или магнитных сил [2], [3].

Методы

С целью изучения основных эксплуатационных характеристик комбинированного магнитожидкостного уплотнения использовался экспериментальный стенд для определения момента трения (рис. 1). С помощью установки определяются: частота вращения уплотняемого вала, уплотнительная среда, температура уплотняемой среды, поведение набивки при эксплуатации.

Экспериментальная установка представляет из себя следующую конструкцию. На лабораторном столе устанавливается плита 1. В плите 1 закрепляется подшипниковый узел, состоящий из подшипникового стакана и установленными в нем подшипниками качения для вала 3. На валу 3

монтируется приводной двигатель 4, который соединяется с валом с помощью соединительной муфты 5. Частота вращения вала измеряется с помощью тахометра, для выполнения этой цели на валу установлен диск 6. Частоту световых импульсов при перемещении диска измеряет датчик 7.

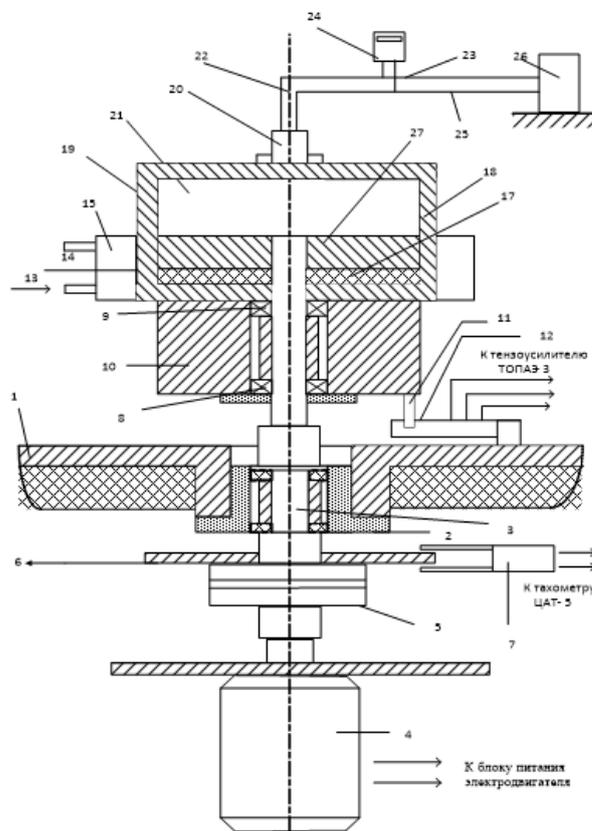


Рис. 1

Для измерения момента трения в паре вращающийся вал и сальниковое уплотнение имеют корпус, состоящий из подшипников качения 8 и 9, установленных на вращающемся валу. За счет этого с помощью тензобалки 11 и 12 на корпус 10 передается момент трения. Для создания различных температур в сальнике используется термостат, состоящий из корпуса подводящих жидкость штуцеров 13, 14, 15, внутри которых протекает жидкость 16 от внешнего термостата. Испытуемый сальник 17 помещается в корпус 18, состоящий из крышки 19, на которой помещен штуцер 20, для воздействия на уплотняемую среду 21 давлением воздуха по трубопроводу 22. Давление фиксируется через соединение 23 манометром 24. Давление воздуха подается

через кран 25 от насоса 26. При этом испытуемый сальник фиксируется в корпусе кольцом 27 [3].

Результаты и обсуждения

В результате проведения экспериментальных исследований отмечено, что увеличение герметичности комбинированного магнитожидкостного уплотнения происходит за счет сжатия волокон материала набивки, одновременно с этим возрастает усилие прижатия набивки к поверхности втулки, следствием чего является выделение из набивки смазочного материала. При использовании магнитной жидкости в качестве смазки ее структура и свойства, а также наличие магнитного поля могут оказывать значительное влияние на процесс трения за счет образования в области трения пленки смазочного материала, которая может значительно уменьшить непосредственный контакт трущихся поверхностей.

Оценка смазочных свойств какой-либо среды может быть произведена путем измерения момента трения и износа при трении образцов. На основании теории трения в

паре эластомер (набивка) – металл установлено, что основное влияние на процесс трения оказывает ряд факторов: шероховатость металлического элемента, входящего в пару трения; контактное усилие в паре трения; скорость скольжения; природа смазочного материала; магнитная индукция в области трения (для случая трения в присутствии магнитной жидкости) [4].

В представленной работе в качестве смазочного материала применялся ряд магнитных жидкостей (МЖ), отличающихся по своим свойствам. При проведении экспериментов использовались магнитные жидкости на основе полиэтилсилоксана (ПЭС-5) с различными магнитными наполнителями. Магнитной фазой в этих жидкостях являлось карбонильное железо, магнетит, и их смесь. Характеристики МЖ приведены в табл. 1.

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

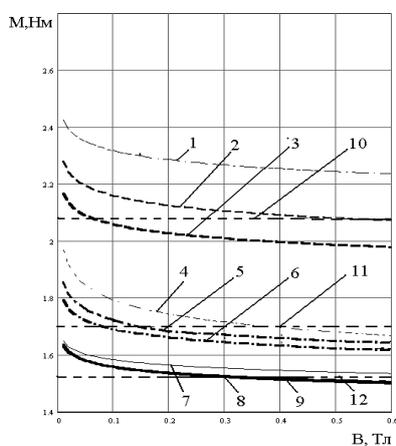


Рис. 2

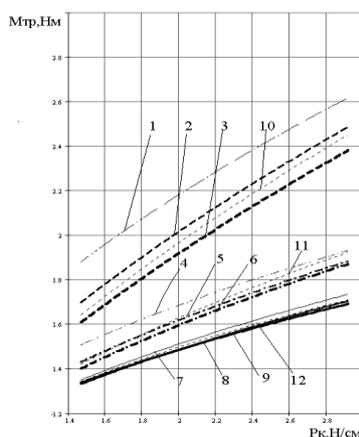


Рис. 3

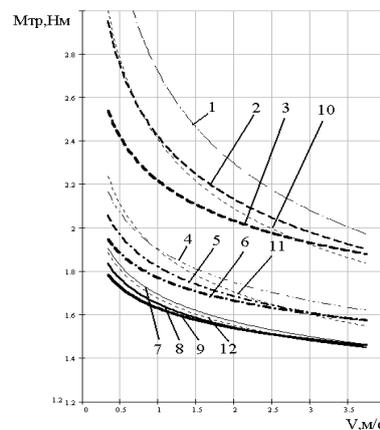


Рис. 4

Данные, приведенные на рис. 2, 3 и 4, получены при скорости вращения вала $V=2,04$ м/с. На указанных рисунках приняты единые обозначения: 1 – МЖ на магнетите, $R_z=8,5$ мкм; 2 – МЖ на магнетите и железе, $R_z=8,5$ мкм; 3 – МЖ на железе, $R_z=8,5$ мкм; 4 – МЖ на магнетите, $R_z=2,5$ мкм; 5 – МЖ на магнетите и железе, $R_z=2,5$

мкм; 6 – МЖ на железе, $R_z=2,5$ мкм; 7 – МЖ на железе, $R_z=0,6$ мкм; 8 – МЖ на магнетите и железе, $R_z=0,6$ мкм; 9 – МЖ на железе, $R_z=0,6$ мкм; 10 – ПЭС - 5 без магнитного наполнителя, $R_z=8,5$ мкм; 11 – ПЭС - 5 без магнитного наполнителя, $R_z=2,6$ мкм; 12 – ПЭС - 5 без магнитного наполнителя, $R_z=0,6$ мкм.

№	Состав магнитной фазы %		Жидкость - носитель	Намагниченность насыщения, кА/м	Вязкость, 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	

На рис. 2 представлены зависимости момента трения (M) от величины магнитной индукции (B) для различных МЖ при различной шероховатости твердой поверхности трения. Из представленных данных видно, что во всех случаях имеет место снижение момента трения при росте магнитной индукции с 0 до 0,6 Тл и при повышении качества обработки поверхности.

На рис. 3 представлены зависимости момента трения от контактного усилия (P_k) для различных магнитных жидкостей при магнитной индукции $B = 0,2$ Тл. Отмечено, что для всех случаев с увеличением P_k наблюдается возрастание момента трения. При увеличении качества обработки поверхности твердого тела до $R_z = 2,5$ мкм и $R_z = 0,6$ мкм характер кривых момента трения изменяется. Величины моментов трения для МЖ «карбонильное железо + магнетит» и МЖ с карбонильным железом имеют практически одинаковые значения, что свидетельствует 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 трущихся поверхностей [5...7].

На рис. 4 представлены кривые зависимости момента трения от скорости скольжения при величине контактного усилия $P_k = 2,203$ Н/см. Во всех случаях при увеличении скорости скольжения (V) имеет место уменьшение момента трения (M), что может свидетельствовать о переходе к упругогидродинамическому режиму трения [8].

ВЫВОДЫ

В ходе экспериментального исследования выявлено, что надежность и долговечность работы насосного оборудования, герметизированного с использованием магнитожидкостного уплотнителя, зависит от состава магнитной жидкости; качества подготовки трущихся поверхностей (шероховатости); а также величин магнитной индукции, контактного усилия и скорости скольжения. На основании проведенных 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%. С возрастанием скорости скольжения снижается влияние на величину момента трения магнитного наполнителя.

Результатом проведенной работы явилось усовершенствование комбинированного магнитожидкостного уплотнения, которое может быть использовано в насосном оборудовании, применяемом в отделочном производстве текстильной отрасли, а также в химической промышленности в целом. МЖУ и традиционное сальниковое уплотнение объединяется в одну конструкцию, в которой магнитная жидкость сохраняется в рабочем зазоре. Одновременно с этим в качестве смазки торцевого уплотнения также используется магнитная жидкость. Магнитожидкостное уплотнение устанавливается таким образом, чтобы магнитная жидкость находилась в зоне трения. Оптимальными эксплуатационными характеристиками обладает МЖУ с металлокерамической втул-

кой, за счет чего значительно расширяется область его применения для герметизации жидких сред.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Kobozev M.A., Simonovskii A.Ya.* Formation rate of vapor bubbles in magnetic fluid boiling at a single vaporization center: measuring technique and experimental setup // *Technical Physics.* – Vol. 52 (2007), №11, P. 1422...1428.

2. *Yanovskiy A.A., Simonovsky A.Ya., Kholopov V.L., Chuenkova I.Yu.* Heat transfer in boiling magnetic fluid in a magnetic field. *Solid State Phenomena.* – Vol.233...234 (2015). P. 339...343.

3. *Орлов Д.В., Михалев Ю.О., Мышкин Н.К. и др.* Магнитные жидкости в машиностроении. – М.: Машиностроение, 1993.

4. *Сизов А.П., Комельков В.А., Колбашов М.А. и др.* Разработка стенда для испытаний уплотнительного устройства водяного насоса // *Современные проблемы гражданской защиты.* – 2020, № 2(35). С.86...90.

5. *Сизов А.П., Топоров А.В., Палин Д.Ю. и др.* Разработка конструкции комбинированного магнито-жидкостного уплотнения для подшипниковых узлов текстильных машин // *Изв. вузов. Технология текстильной промышленности.* – 2019, № 6. С.208...212.

6. *Топоров А.В., Киселев В.В., Покровский А.А., Легкова И.А., Иванов В.Е.* Исследование процессов работы комбинированных магнито-жидкостных уплотнений механических приводов // *Интернет-журнал Науковедение.* – 2017. Т. 9. № 5. С. 9.

7. *Arefyev I.M., Demidenko O.V., Saikin M.S.* Assessment of magnetic fluid stability in nonhomogeneous magnetic field of a single-tooth magnetic fluid sealer // *Journal of Magnetism and Magnetic Materials.* – 2017. V. 431. P. 20...23.

8. *Хебда М., Чичинадзе А.В.* Справочник по триботехнике. Теоретические основы. – М.: Машиностроение, 1989.

REFERENCES

1. *Kobozev M.A., Simonovskii A.Ya.* Formation rate of vapor bubbles in magnetic fluid boiling at a single vaporization center: measuring technique and experimental setup // *Technical Physics.* – Vol. 52 (2007), no. 11, P. 1422...1428.

2. *Yanovskiy A.A., Simonovsky A.Ya., Kholopov V.L., Chuenkova I.Yu.* Heat transfer in boiling magnetic fluid in a magnetic field. *Solid State Phenomena.* – Vol.233...234 (2015). P. 339...343.

3. *Orlov D.V., Mikhalev Yu.O., Myshkin N.K. et al.* Magnetic fluids in mechanical engineering. - М.: Mashinostroenie, 1993.

4. *Sizov A.P., Komelkov V.A., Kolbashov M.A. et al.* Development of a stand for testing the sealing device of a water pump // *Modern problems of civil protection.* - 2020, No. 2 (35). P.86...90.

5. *Sizov A.P., Toporov A.V., Palin D.Yu. et al.* Development of the design of a combined magnetic fluid seal for bearing units of textile machines // *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii. Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti.* - 2019, No. 6. P.208 ... 212.

6. *Toporov A.V., Kiselev V.V., Pokrovsky A.A., Legkova I.A., Ivanov V.E.* Investigation of the operation processes of combined magnetic fluid seals of mechanical drives. *Internet Journal of Science Studies.* – 2017. V. 9. No. 5. P. 9.

7. *Arefyev I.M., Demidenko O.V., Saikin M.S.* Assessment of magnetic fluid stability in nonhomogeneous magnetic field of a single-tooth magnetic fluid sealer // *Journal of Magnetism and Magnetic Materials.* – 2017. V. 431. P. 20...23.

8. *Hebda M., Chichinadze A.V.* Reference book on tribotechnics. Theoretical basis. - М.: Mashinostroenie, 1989.

Рекомендована кафедрой пожарной безопасности объектов защиты. Поступила 01.12.21.