

УДК 621.816

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ КОНФИГУРАЦИИ МАГНИТНОЙ СИСТЕМЫ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ МАГНИТОЖИДКОСТНОГО УПЛОТНЕНИЯ С МАГНИТНЫМ ЭЛАСТОМЕРНЫМ МАТЕРИАЛОМ

А.В. Топоров, Д.Ю. Палин

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России

М.Ю. Колобов

Ивановский государственный химико-технологический университет

В статье приведены результаты исследования влияния угла рабочей кромки на величину магнитной индукции в рабочей области магнитоэластомерного уплотнения, а также влияние толщины немагнитных шайб на среднюю величину магнитной индукции. Установлено, что для повышения рабочих характеристик магнитоэластомерного уплотнения с магнитными эластомерными шайбами требуется плоская конфигурация рабочей кромки. Обнаружено, что наличие немагнитных шайб установленных между магнитными эластомерными шайбами в корпусе магнитоэластомерного уплотнения позволяет образовывать в два раза больше градиентных зон. Выявлено, что для достижения наилучшего результата толщина немагнитных шайб должна составлять не менее 0,5 толщины магнитных шайб из магнитного эластомерного материала.

Ключевые слова: комбинированное магнитоэластомерное уплотнение, магнитный эластомер, немагнитные шайбы, градиентные зоны, магнитная индукция, картина магнитного поля.

В настоящее время для герметизации узлов машин и механизмов применяются сальниковые, манжетные, торцевые и комбинированные магнитоэластомерные уплотнения. Данные герметизаторы достаточно хорошо себя зарекомендовали в ходе эксплуатации в различных узлах и механизмах, однако, у них имеется ряд недостатков: сложность изготовления, относительно большие габаритные размеры, достаточно высокая стоимость (торцевые и магнитоэластомерные уплотнения), низкий удерживаемый перепад давлений (манжетные и сальниковые уплотнения), сложность монтажа и демонтажа конструкции.

С целью повышения рабочих характеристик и упрощении конструкции уплотнительных устройств, предлагается использовать магнитоэластомерное уплотнение с магнитным эластомерным материалом, выступающим в качестве источника магнитного поля и магнитной системы.

Основные исследования характеристик магнитоэластомерного уплотнения (МЖУ) проводились на основе специально разработанного модельного уплотнения, представленного на рис. 1, в котором источником магнитного поля являлся магнитоэластомерный материал.

Источником магнитного поля в модельном МЖУ являлись шайбы, состоящие из листов магнитного эластомерного материала.

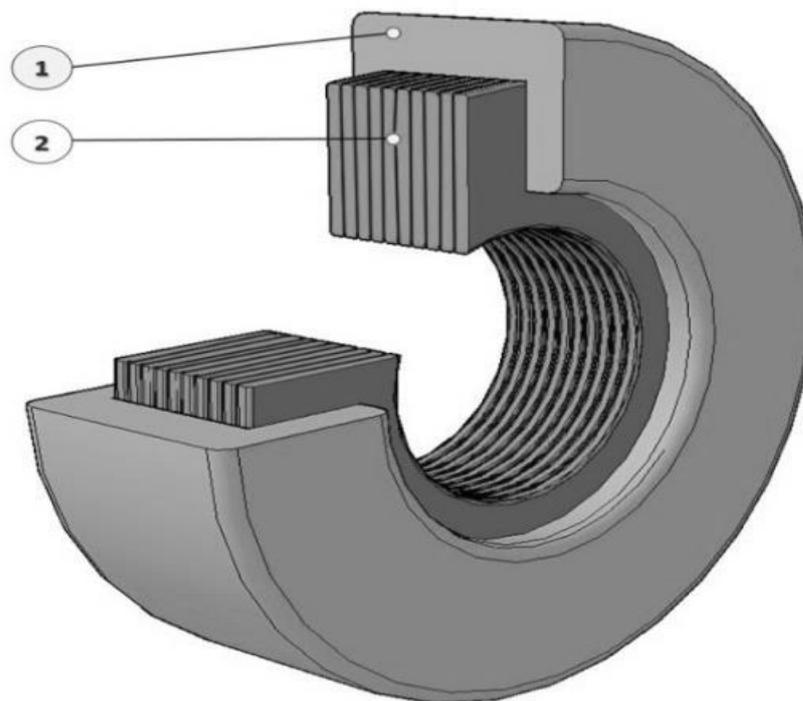
Магнитные эластомерные шайбы изготавливались по ранее заданным размерам методом вырубки.

На сегодняшний день листы из магнитного эластомерного материала выпускаются с широким спектром геометрических размеров [1, 5], что дает возможность изготавливать шайбы нужной формы.

Теоретические исследования по улучшению рабочих характеристик МЖУ включали в себя два этапа:

1. Исследование влияния угла рабочей кромки на величину магнитной индукции в рабочей области МЖУ;

2. Исследование влияния толщины немагнитных шайб на среднюю величину магнитной индукции.



**Рис. 1. Магнитожидкостное уплотнение:
1 – корпус, 2 – магнитоэластомерные шайбы**

Этап 1: Практика создания традиционных магнитожидкостных уплотнений показывает, что угол при вершине зубцов (концентраторов магнитной жидкости) влияет на перераспределение магнитного поля и величину удерживаемого перепада давлений [3].

Конструктивной особенностью для удержания перепада давлений является наличие зубцов (концентраторов) в уплотнении. В традиционных уплотнениях концентраторы выполняются на полюсных приставках со стороны рабочего зазора [3]. Отличительной особенностью

МЖУ с магнитным эластомерным материалом, заключается в отсутствие полюсных приставок.

В рассматриваемом уплотнении, представленном на (рис. 1) роль концентраторов магнитной жидкости выполняют рабочие кромки магнитных эластомерных шайб. Характеристики МЖУ зависят от выбора конфигурации угла рабочей кромки из магнитного эластомерного материала.

На рис. 2 представлено несколько вариантов конфигурации рабочих кромок магнитных эластомерных шайб.

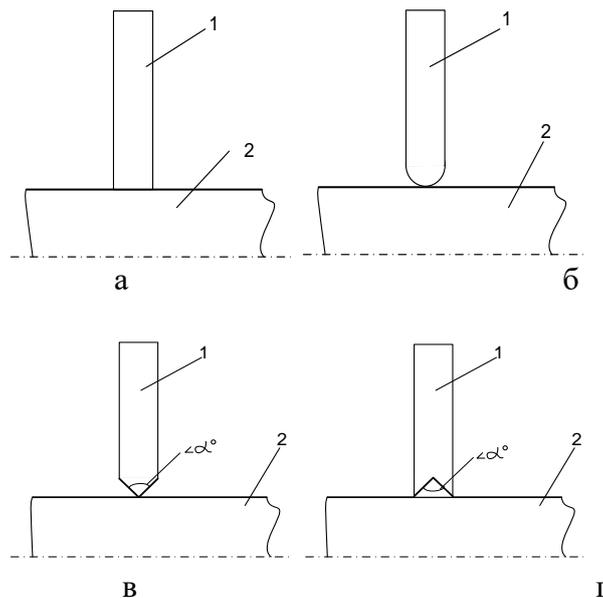


Рис. 2. Конфигурация рабочей кромки магнитной эластомерной шайбы: а – плоская, б – полукруглая, в – с внешним углом, г – с внутренним углом, 1 – шайба из магнитного эластомерного материала, 2 – вал

Полукруглая форма рабочей кромки характерна для уплотнительных колец, а форма рабочей кромки с внешним углом – для манжетных уплотнений. Форма рабочей кромки с внутренним углом характерна для уплотнений статических зазоров и вводов возвратно – поступательного движения, так называемых Х-колец. Предыдущие расчеты показали, что толщина магнитных эластомерных шайб не влияет на величину магнитной индукции [6]. Однако на сайтах производителей толщина магнитного эластомерного материала колеблется от 0,25 до 5 мм [2]. Следовательно, для рабочей кромки с внутренним углом магнитный расчет не выполнялся, так как при ее изготовлении возникают технологические трудности из-за относительно небольшой толщины магнитного эластомерного материала, имеющегося в наличии в настоящее время.

Поскольку величина толщины шайб относительно невелика (в данной работе принята равной 1 мм) можно предположить, что магнитные расчеты для шайб с

полукруглой рабочей кромкой будут аналогичны результатам для плоской рабочей кромки вследствие малости зазоров.

Величина внешнего угла рабочей кромки может влиять на перераспределение магнитного поля в рабочем зазоре уплотнения. В конструкциях манжетных уплотнений рабочая кромка может изготавливаться с разными углами, но зачастую составляют порядка 90° [2].

При проведении магнитного расчета использовались величины углов рабочей кромки 60° , 90° , 120° , 150° . Расчеты проводились на примере элемента уплотнения изготовленного из четырех магнитных эластомерных шайб намагниченных в осевом направлении и установленных одноименными полюсами друг к другу.

Основной программой для реализации конечноэлементного моделирования являлась FEMM 4.2 [6].

В ходе магнитного расчета были получены кривые распределения магнитной индукции в рабочем зазоре для разных углов рабочих кромок. Можно сде-

лать вывод, что форма кривых во всех случаях практически идентична конфигурации для плоской рабочей кромки. Однако при уменьшении угла рабочей кромки наблюдается тенденция снижения пиковых и средних значений магнитной индукции.

Кривая распределения величины магнитной индукции (рис. 3) для более острых углов значительно снижается. Для плоской рабочей кромки (угол при вершине 180°) магнитная индукция выше, что положительно отражается на рабочих характеристиках МЖУ.

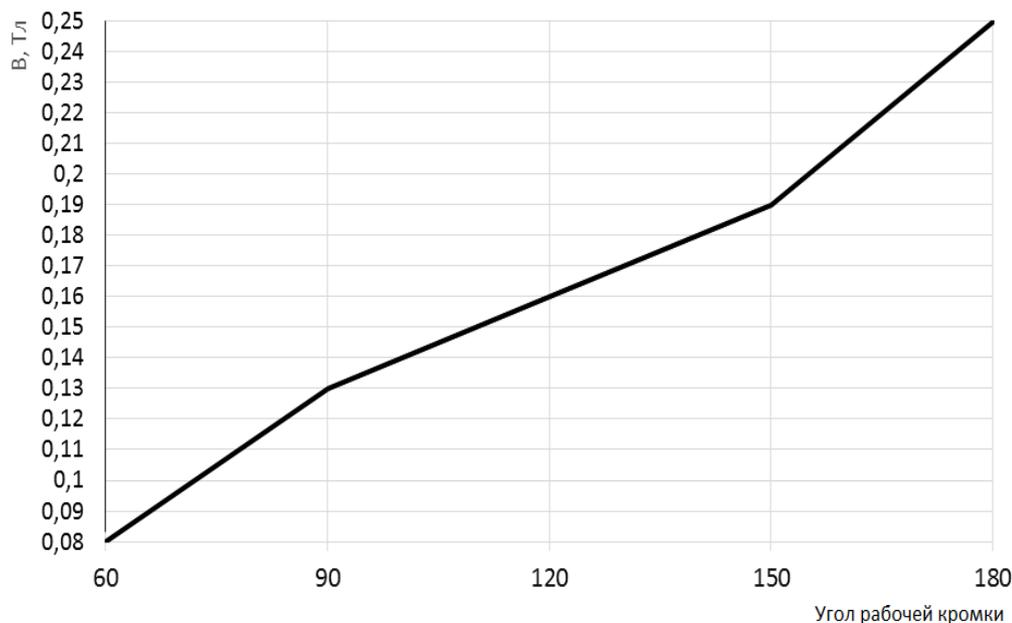


Рис. 3. Влияние угла рабочей кромки на величину магнитной индукции в рабочей области

Этап 2: Известно, что величина удерживаемого перепада давлений МЖУ зависит от количества градиентных зон [3]. С увеличением количества градиентных зон можно добиться повышения удерживаемого перепада давления в уплотнении.

Для этого в корпусе МЖУ предлагается расположить немагнитные шайбы между шайбами из магнитного эластомерного материала (рис. 4).

Немагнитные шайбы способствуют разделению магнитной системы на отдельные сегменты, и обеспечивают образование новых градиентных зон на каждой кромке магнитоэластомерной шайбы.

При конструировании немагнитных шайб должна учитываться их толщина. Она не должна приводить к значительно-

му увеличению габаритных размеров уплотнения, но в то же время обеспечивать максимальный перепад магнитных индукций на рабочих кромках магнитных эластомерных шайб.

Формирование новых градиентных зон в рабочей области уплотнения подтверждается результатами магнитного расчета в котором между магнитными эластомерными шайбами намагниченными в осевом направлении и установленными одноименными полюсами друг к другу помещаются немагнитные шайбы, толщина которых равна толщине шайб из магнитного эластомера.

Картина магнитного поля и кривая распределения магнитной индукции в рабочей области уплотнения представлена на рис. 5.

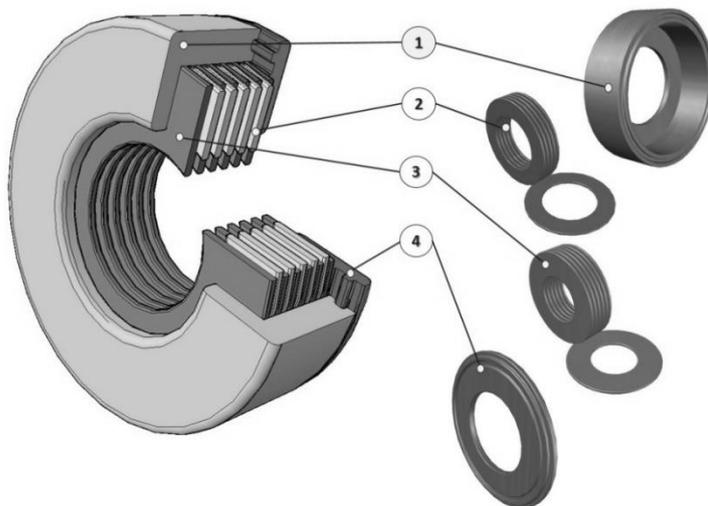
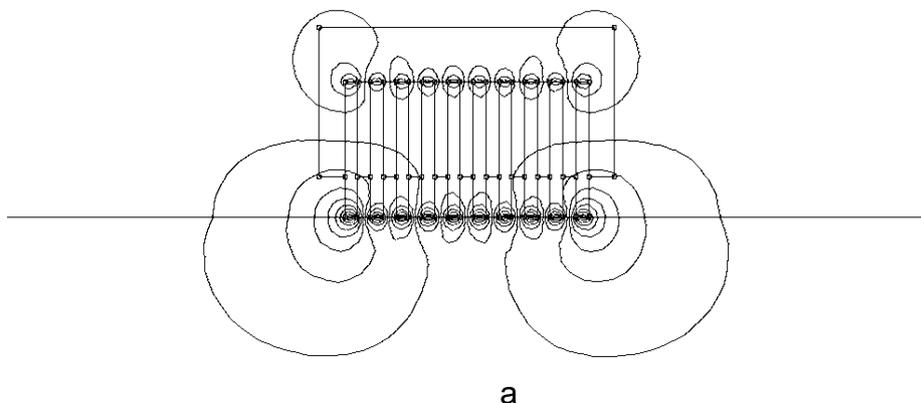
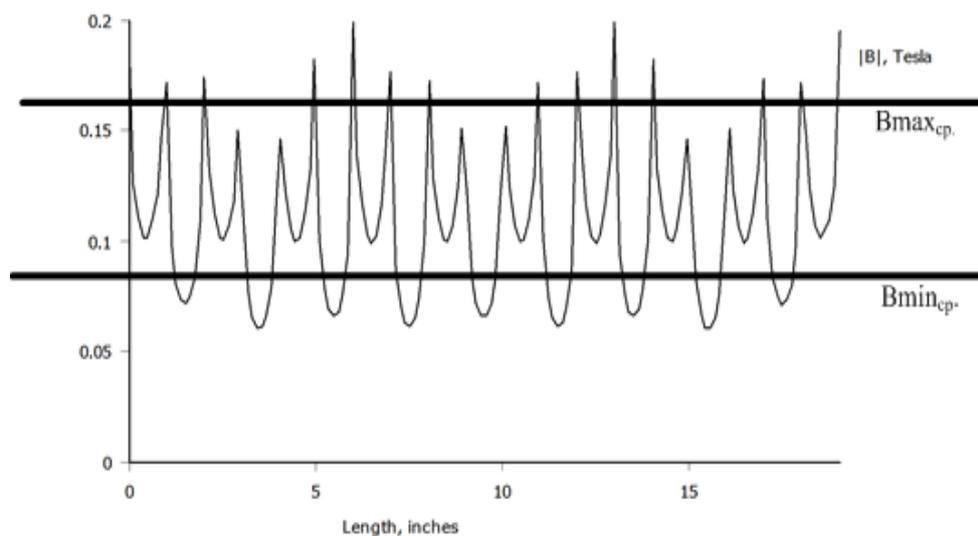


Рис. 4. Трехмерная модель магнитожидкостного уплотнения:
1 – корпус, 2 – магнитоэластомерные шайбы, 3 – шайбы из немагнитного материала, 4 – крышка

Как показано на рис. 5 а, магнитные силовые линии концентрируются на каждой кромке магнитных эластомерных шайб находящихся в непосредственном контакте с валом. Более выраженную картину можно наблюдать на рис. 5 б, где пиковые значения магнитной индукции детально показывают зоны концентрации магнитной жидкости. Таких областей возникает в два раза больше, чем в отсутствии немагнитных шайб. Однако для расчета удерживаемого перепада давлений основное значение имеет градиент

магнитной индукции, поэтому возникает задача в определении влияния толщины немагнитных шайб на величину минимального и максимального значения в рабочем зазоре уплотнения. Для решения поставленной задачи был проведен магнитный расчет уплотнения для толщины немагнитных шайб равных 0.5 мм, 1 мм, 1.5 мм, 2 мм от ширины магнитных эластомерных шайб. Основным показателем удерживаемого перепада давлений являлись средние значения магнитной индукции (рис. 5 б).





б

Рис. 5. Магнитный расчет уплотнения с немагнитными шайбами:
а – картина магнитного поля; б – кривая распределения магнитной индукции
в рабочей области уплотнения

Полученные результаты расчетных значений величин магнитной индукции в зависимости от относительной

толщины немагнитных шайб приведены в таблице 1.

Таблица 1

Расчетные значения величин магнитной индукции в зависимости от относительной
толщины немагнитных шайб

Относительная толщина шайбы, мм	$B_{\max \text{ ср.}}$	$B_{\min \text{ ср.}}$	$B_{\max \text{ ср.}} - B_{\min \text{ ср.}}$
0,5	0,18	0,1	0,08
1	0,18	0,07	0,11
1,5	0,18	0,05	0,13
2	0,18	0,03	0,15

Значения табличных данных указывают на то что, максимальная индукция B_{\max} для всех расчетов составляет 0,18 Тл, а минимальная индукция снижается с увеличением толщины немагнитных шайб. Это вызвано тем, что в рабочем зазоре уплотнения не происходит нало-

жения магнитных силовых линий от двух соседних магнитных эластомерных шайб в области под немагнитной шайбой.

Качественно оценить величину удерживаемого перепада давлений возможно при помощи зависимости [3]:

$$\Delta P = n \cdot M_s (B_{\max} \cdot B_{\min}) \quad (1)$$

где n – число зон перепадов величин магнитной индукции;

M_s – намагниченность насыщения магнитной жидкости, 20-80 кА/м [3];

B_{\max} , B_{\min} – максимальная и минимальная величины магнитной индукции в рабочем зазоре.

В ходе расчетов M_s принималось как 60 кА/м. Результаты расчета всех рассмотренных образцов выражены в форме зависимости изменения давления от относительной ширины немагнитной шайбы (рис. 6).

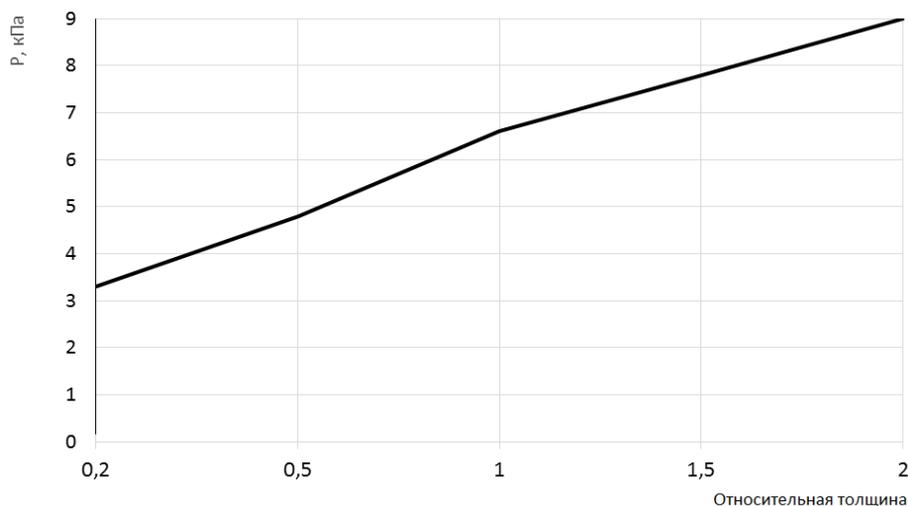


Рис. 6. Зависимость перепада давлений ΔP , удерживаемого одной шайбой из магнитного эластомера от относительной ширины немагнитной шайбы

Кривая на рис. 6 показывает, что величина удерживаемого перепада давлений имеет значение сопоставимое с аналогичным для уплотнения без немагнитной шайбы при толщине немагнитной шайбы порядка 0,5 мм от толщины магнитной эластомерной шайбы. При отсутствии немагнитных прокладок зоны концентрации МЖ возникают на стыке двух шайб, а при наличии немагнитных вставок – на каждой кромке магнитоэластомерной шайбы. Таким образом, для обеспечения сопоставимой величины удерживаемого перепада давлений при установке немагнитных шайб необходимо использовать меньшее в 2 раза количество шайб из магнитного эластомерного материала. При этом, учитывая, что рациональная величина толщины немагнитных проставок составляет порядка 0,5 от толщины магнитных эластомерных шайб, а их количество на 1 меньше, чем

магнитных, что позволяет добиться уменьшения осевой длины уплотнения на 20-25% без потери рабочих характеристик.

Полученные результаты позволяют сформулировать следующие выводы:

1. Для повышения рабочих характеристик МЖУ с магнитными эластомерными шайбами требуется плоская конфигурация рабочей кромки.

2. Наличие немагнитных шайб установленных между магнитными эластомерными шайбами в корпусе МЖУ позволяет образовывать в два раза больше градиентных зон.

3. Для достижения наилучшего результата толщина немагнитных шайб должна быть не менее 0,5 толщины магнитных шайб из магнитного эластомерного материала.

4. Отсутствие полюсных проставок значительно уменьшает габаритные раз-

меры уплотнения по сравнению с традиционными МЖУ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Алексеев А.Г., Корнев А.Е. Магнитные эластомеры. М.: Химия, 1987. 240 с.
2. Группа компаний АМТ&С. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.amtc.ru/news/world/7349/> (дата обращения: 31.01.20)
3. Кондаков А.А., Голубев А.И., Овандер В.Б и др. Уплотнения и уплотнительная техника. Справочник. М.: Машиностроение, 1986. 464 с.
4. Орлов Д.В., Михалев Н.К., Мышкин Н.К и др. Магнитные жидкости в машиностроении. М.: Машиностроение, 1993. 272 с.
5. ООО «ПОЛИМЕРМАШ ГРУПП» г. С.-Петербург. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.polgroup.ru> (дата обращения: 31.01.20).
6. Топоров А.В., Палин Д.Ю., Киселев В.В. Расчет магнитной системы комбинированного магнито-жидкостного уплотнения // Современные проблемы гражданской защиты. №2(31). 2019. С. 83-89.

ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF CONFIGURATION OF A MAGNETIC SYSTEM ON THE CHARACTERISTICS OF A MAGNET-FLUID SEAL WITH A MAGNETIC ELASTOMERIC MATERIAL

A.V. Toporov, D.Yu. Palin

Ivanovo Fire and Rescue Academy of the State Fire Service of the Ministry of Emergencies of Russia

M.Yu. Kolobov

Ivanovo State University of Chemical Technology

The article presents the results of a study of the influence of the working edge angle on the magnitude of the magnetic induction in the working area of the magneto-liquid seal, as well as the effect of the thickness of non-magnetic washers on the average value of the magnetic induction. It has been established that to improve the performance of a magneto-liquid seal with magnetic elastomer washers, a flat configuration of the working edge is required. It was found that the presence of non-magnetic washers installed between the magnetic elastomeric washers in the body of the magneto-liquid seal allows you to form two times more gradient zones. It was revealed that in order to achieve the best result, the thickness of non-magnetic washers should be at least 0.5 of the thickness of magnetic washers made of magnetic elastomeric material.

Key words: combined magnetically liquid seal, magnetic elastomer, non-magnetic washers, gradient zones, magnetic induction, magnetic field pattern.

References

1. Alekseev A.G., Kornev A.E. Magnitnye elastomery. M.: Himiya, 1987. 240 s.
2. Gruppy kompanij AMT&C. [Elektronnyj resurs]. □ Rezhim dostupa: <http://www.amtc.ru/news/world/7349/> (data obrashcheniya: 31.01.20).
3. Kondakov A.A., Golubev A.I., Ovander V.B i dr. Uplotneniya i uplotnitel'naya tekhnika. Spravochnik. M.: Mashinostroenie, 1986. 464 s.
4. Orlov D.V., Mihalev N.K., Myshkin N.K i dr. Magnitnye zhidkosti v mashinostroyenii. M.: Mashinostroenie, 1993. 272 s.
5. ООО «POLIMERMASH GRUPP» g. S.-Peterburg. [Elektronnyj resurs]. □ Rezhim dostupa: <http://www.polgroup.ru> (data obrashcheniya: 31.01.20).
6. Toporov A.V., Palin D.YU., Kiselev V.V. Raschet magnitnoj sistemy kombinirovannogo magnito-zhidkostnogo uplotneniya // Sovremennye problemy grazhdanskoj zashchity. №2(31). 2019. S. 83-89.