

А. В. Радионов, (ООО «НПВП «Феррогидродинамика», г. Николаев, Украина),
А. А. Гуляев, (ООО «НПЦ «АНОД», г. Нижний Новгород, Россия)

Повышение эксплуатационной надёжности аппаратов с мешалками путём применения магнитожидкостных герметизаторов

Проанализированы типы уплотнительных устройств для аппаратов с перемешивающими устройствами. Обоснован выбор магнитожидкостного герметизатора для выходного вала питателя ТД-200. Выбрана седиментационно устойчивая магнитная жидкость. Разработана конструкция герметизатора и проведены его испытания.

Ключевые слова: магнитная жидкость, магнитожидкостные герметизаторы, питатель, мешалка

Проанализовані типи ущільнюючих пристроїв для апаратів з перемішувачами. Обґрунтовано вибір магнеторідного герметизатора для вихідного валу живильника ТД-200. Вибрана седиментаційно стійка магнітна рідина. Розроблена конструкція герметизатора і проведені його випробування.

Ключові слова: магнітна рідина, магнеторідні герметизатори, живильник, мішалка.

The types of sealing devices for devices with mixing devices are analyzed. Grounded for the choice of magnetohydraulic fluid sealant for the output shaft TD-200. Selected sedimentation steady magnetic fluid. The design of the sealant has been developed and tested for it.

Key words: magnetic fluid, magnetohydraulic pressure regulators, feeder, mixer.

Постановка проблемы в общем виде

Аппараты с перемешивающими устройствами являются наиболее распространенным видом оборудования, используемого в химических и горнообогатительных технологиях для проведения различных физических и химических процессов. Выбор аппаратов с перемешивающими устройствами и конструктивные особенности аппаратов определяются характеристикой процесса, свойствами перемешиваемой среды, производительностью технологической линии, температурными параметрами процесса и давлением, при котором процесс осуществляется [1].

Однако общей для любого типа аппарата является проблема обеспечения надежной герметизации вращающихся валов мешалок. Полное отсутствие утечек из объема аппарата способствует решению нескольких задач: во – первых, повышению уровня экологической безопасности; во-вторых, защите перемешиваемой среды от попадания различных включений, примесей и т.д., что часто приводит к нарушению технологического процесса и браку продукции.

Анализ последних исследований и публикаций

Самым давним решением для подобных систем являются манжетные уплотнения и сальниковая набивка. Они имеют малый срок службы и не обеспечивают полную герметичность. Тем не менее, ввиду низкой стоимости они используются достаточно часто, несмотря на из-

вестные проблемы, связанные с их эксплуатацией: износ вала и частый выход из строя подшипников и других деталей аппарата, дополнительные энергопотери из-за трения набивки о вал. При этом, как правило, не учитывается такой фактор, как стоимость последующих простоев и восстановления оборудования.

Наибольшее распространение в настоящее время получили торцовые уплотнения, но им также присущи небольшие утечки. Широко применяемые двойные газовые торцовые уплотнения имеют и другие существенные недостатки: высокая стоимость узлов уплотнения; довольно значительный расход газа в полость аппарата; возможность применения лишь в случае допустимости попадания барьерного газа в аппарат; необходимость системы подготовки буферного (и при необходимости барьерного) газа, включающей компрессор или установку получения газообразного азота и систему автоматического поддержания режимных параметров [2].

Поэтому перспективным является применение магнитожидкостных герметизаторов (МЖГ). МЖГ относятся к бесконтактным щелевым уплотнениям, в которых магнитная жидкость (МЖ) удерживается магнитным полем в рабочих зазорах между сопрягаемыми деталями [3]. Уникальным свойством МЖГ является то, что он является действительно практически полностью герметичным уплотнением.

В МЖГ используются два свойства магнитной жидкости (МЖ): она вытягивается в область неоднород-

ного магнитного поля и на немагнитное тело, погруженное в МЖ, действует сила, имеющая магнитное происхождение (магнитолевитационный эффект) [4]. Поэтому в МЖГ немагнитные частицы, попадающие в рабочий зазор герметизатора, заполненный МЖ, выталкиваются из него, при этом выталкивающая сила будет зависеть от напряженности магнитного поля в зазоре и намагниченности насыщения МЖ и может во много раз превышать силу тяжести.

Основными преимуществами МЖГ перед традиционными уплотнениями являются нулевые утечки герметизируемой среды, минимальный износ вследствие чисто жидкостного трения, низкие энергетические потери, высокая ремонтпригодность, простота техобслуживания, работоспособность в статике и динамике, самовосстановление в случае аварийного прорыва уплотняемой среды [3].

Как правило в аппаратах с перемешивающими устройствами достаточно низкие обороты вращающегося вала, поэтому процессами, обусловленными вязким трением в МЖ, можно пренебречь. Постоянное движение жидкости в зазоре обеспечивает ее однородность, а использование малоиспаряющихся основ, таких как вакуумные масла или кремнийорганика, обеспечивает долговечность МЖ, а значит и МЖГ [5].

Формулирование целей статьи (постановка задачи)

Целью работы является повышение эксплуатационной надёжно-

сти аппаратов с перемешивающими устройствами путём разработки конструкции магнитожидкостного герметизатора и выбор типа магнитной жидкости для вращающегося вала мешалки.

Изложение основного материала исследования

ООО «Международный научный центр по теплофизике и энергетике» (г. Новосибирск) предложил ООО НПЦ «Анод» и ООО НПВП «Феррогидродинамика» разработать магнитожидкостный герметизатор для проектируемого ими питателя TD – 200. В соответствии с техническим заданием нужно было разработать МЖГ мешалки с рабочим давлением 0,4 атм с учетом краткосрочного повышения давления при перегрузке до 3 атм. Скорость вращения вала составляла 60 об/мин, а уплотняемой средой должен быть водород.

Ранее в ООО НПВП «Феррогидродинамика» был только опыт замены традиционного уплотнения на МЖГ для мешалок аппаратов во время их ремонта либо модернизации. Проработка МЖГ совместно с питателем позволило решить две самые сложные проблемы, связанные с применением герметизаторов для мешалок, еще на этапе проектирования. Первая проблема касалась ограниченного пространства, в котором нужно было разместить МЖГ, особенно это было характерно при замене манжетных уплотнений. Вторая проблема была связана с тем, что для мешалок характерны высокие значения биения вала, а величина рабочего зазора МЖГ не должна превышать 0,25 мм.

Биение вала опасно по двум причинам. Во-первых, если оно больше ширины зазора, то уплотне-

ние может быть разрушено. Во-вторых, при эксцентричном расположении вала и концентратора магнитного потока ширина рабочего зазора изменяется в азимутальном направлении, т.е. изменяется и напряженность магнитного поля в зазоре. Там, где зазор увеличился, соответственно уменьшилась напряженность магнитного поля, а значит и удерживающая способность уплотнения. Это уменьшение может быть значительным и пренебречь им, особенно для напорных МЖГ, нельзя. Для ликвидации негативных последствий, связанных с биением вала, на валу в непосредственной близости от МЖГ были установлены два подшипника. Проектантом было специально для этого выделено место.

Для надежного удержания МЖ при удерживаемых перепадах давления не менее 3 атм магнитную индукцию на поверхности концентратора магнитного потока пришлось увеличивать до 2 Тл. В таких сильных полях МЖ становится пространственно неоднородной вследствие магнитофореза частиц и агрегатов, что может существенно повлиять на стабильность эксплуатационных параметров уплотнений.

Первоначально отобранные образцы МЖ прошли экспресс-метод контроля качества МЖ, основанный на измерении изменяющейся во времени магнитной силы, действующей на образец с МЖ. Подробно этот метод описан в [6]. Далее для выбора оптимальной по составу МЖ были подробно изучены магнитные характеристики жидкостей согласно методик, изложенных в [7,8].

Наиболее эффективным экспериментальным способом изучения

распределения частиц по размерам является применение электронной микроскопии. Исследование образцов магнитной жидкости были проведены на просвечивающем электронном микроскопе (ПЭМ) высокого разрешения Теснаи G2 F205-TWIN.

В качестве исходных образцов для исследования были выбраны магнитные жидкости на основе вакуумного масла VM-3, кремнийорганики ПЭС-3 и глицерина. Все жидкости были произведены в ООО «НПВП «Феррогидродинамика».

Для определения размеров частиц, коллоидные растворы одноименных частиц магнетита, стабилизированных олеиновой кислотой, разводились толуолом в соотношении 1:50. Далее растворы наносились каплей на углеродную сетку для исследования в ПЭМ при диапазоне увеличений $\times 700 \dots \times 450000$. Измерения и статистическая обработка результатов измерений проводились в метрологически сертифицированном программном обеспечении ImageScore.

Для измерения намагниченности магнитных жидкостей в полях напряженностью от 0,1 до 900 кА/м, а также определения намагниченности насыщения (одной из основных характеристик МЖ) использовался метод с применением вибрационного магнетометра фонеровского типа, аналогичный описанному в [9].

На рис. 1 представлены фотографии наночастиц магнетита (рис. 1а – на основе глицерина и рис. 1б – на основе вакуумного масла), а на рис. 2 гистограммы распределения частиц магнитной жидкости по размерам. Из них видно, что средний размер частиц в пределах по-

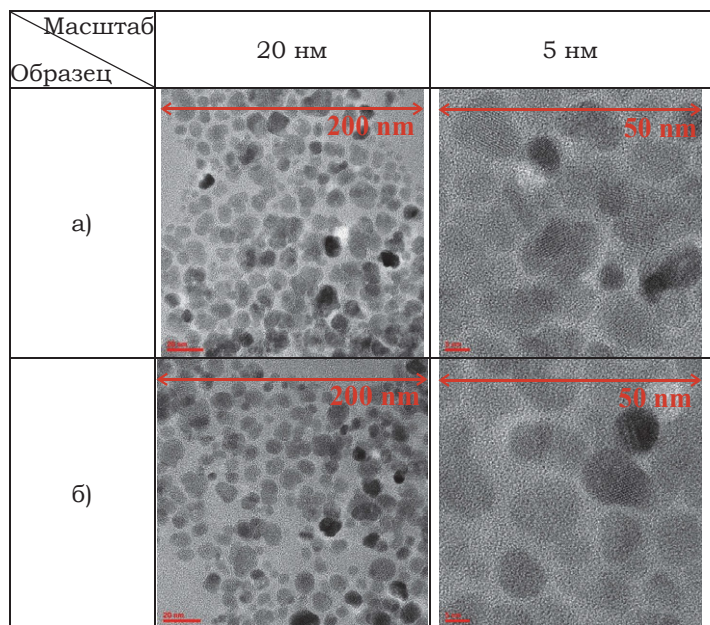


Рис. 1. Электронные фотографии наночастиц МЖ на основе: а – глицерина; б – вакуумного масла VM-3 (масштаб указан на фотографиях красной линией)

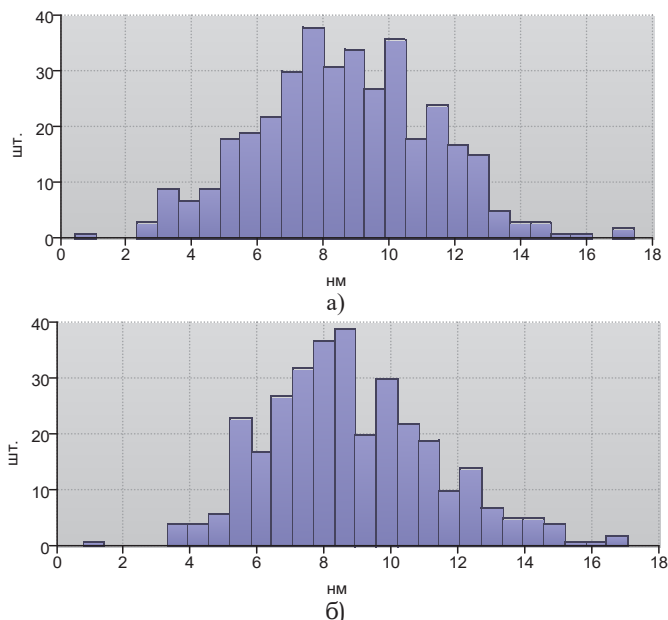


Рис. 2. Гистограмма распределения наночастиц по размерам в магнитной жидкости на основе: а – глицерина; б – вакуумного масла VM-3

грешности одинаков. Такое же распределение частиц было получено и для МЖ на основе полиэтилсилоксана ПЭС-3.

Кривые намагничивания для трех образцов (рис.3,4,5) имеют классический характер, никаких изломов, экстремумов. Это в целом свидетельствует, что данные МЖ достаточно высокого качества и могут быть рекомендованы для применения в магнитожидкостных герметизаторах.

Выбор был остановлен на магнитной жидкости на основе вакуумного масла ВМ-3, т.к. у этой МЖ наибольшая намагниченность насыщения.

Для повышения надежности и ремонтпригодности магнитожидкостная часть была выполнена в виде отдельного блока (рис.6,а и 6,б), который входит непосредственно в магнитожидкостный герметизатор (рис.7).

Испытания МЖГ приводились на производственной базе ООО НПЦ «Анод». Испытания герметизатора проводились на сжатом азоте. В камеру МЖГ подавалось давление со скоростью, не превышающей 5атм в минуту. Первоначально проверялось пиковое рабочее давление 3атм. Несколько этапов повышения избыточного давления от 0 до 3атм показали, что МЖГ надежно выдерживает пиковую рабочую нагрузку. При дальнейших испытаниях давление поднималось до предела, пока не произошел прорыв азота через МЖГ в атмосферу. Предельное давление достигло 6,5 атм.

В настоящее время МЖГ передан Заказчику для испытания в составе нового питателя TD-200.

Выводы:

1. Применение МЖГ в аппаратах с перемешивающими устройствами позволяет повысить эксплуатационную надежность, работоспособность и экологическую безопасность технологического оборудования за счёт исключения утечек уплотняемой среды, снижения брака продукции и т. д.

2. дальнейшем подобное уплотнение может применяться в следующих областях промышленности:

- нефтеперерабатывающие предприятия;
- химические предприятия;
- горнодобывающие и горно-обогатительные предприятия.

Область применения уплотнения:

- Диаметр вала: от 25 мм.
- Давление нагнетания: до 3 атм.
- Рабочие температуры: от -40°С до +100°С.
- Скорость скольжения: от 0 до 30 м/с.

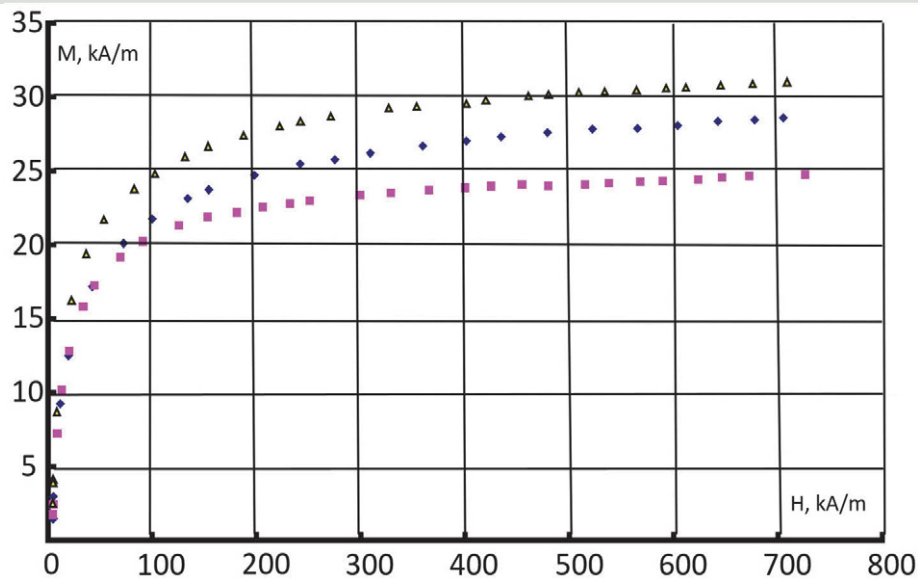


Рис. 3. Кривая намагничивания:
♦ - МЖ на ПЭС-3, ■ - МЖ на глицерине, ▲ - МЖ на ВМ-3

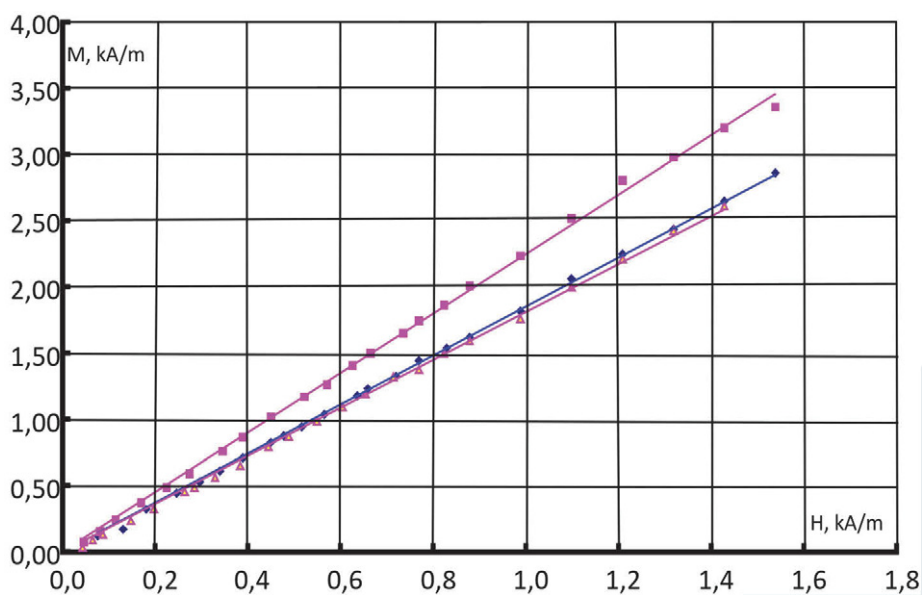


Рис. 4. Кривая намагничивания, линейный участок:
♦ - МЖ на ПЭС-3, ■ - МЖ на ВМ-3, ▲ - МЖ на глицерине.

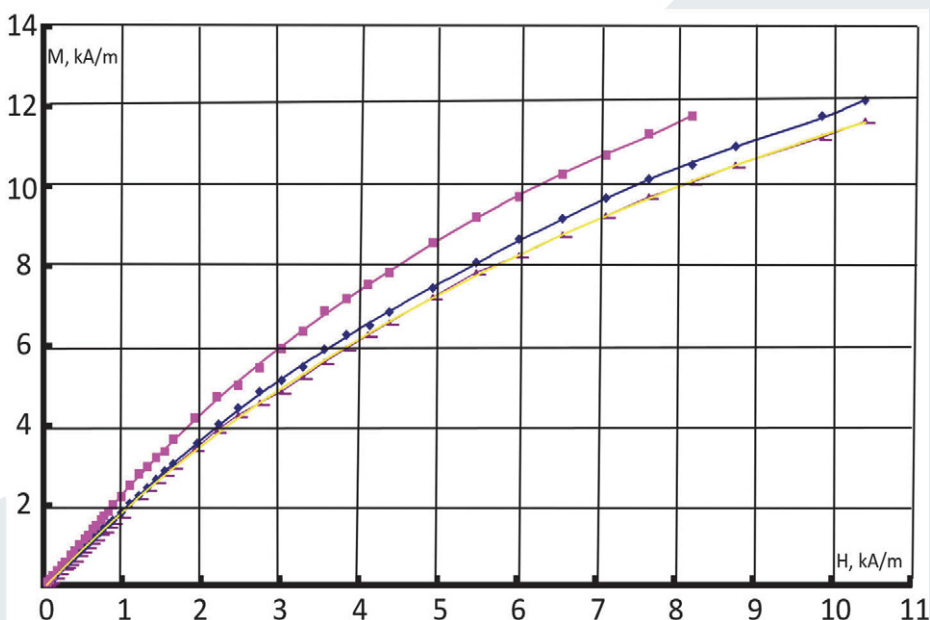


Рис. 5. Кривая намагничивания, начальный участок:
♦ - МЖ на ПЭС-3, ■ - МЖ на ВМ-3, ▲ - МЖ на глицерине.

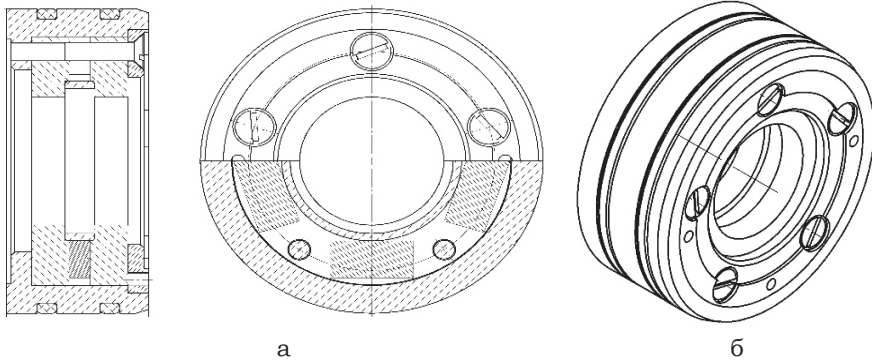


Рис. 6 Магнитный блок магнитожидкостного герметизатора:
а) общий вид, б) 3D-модель.

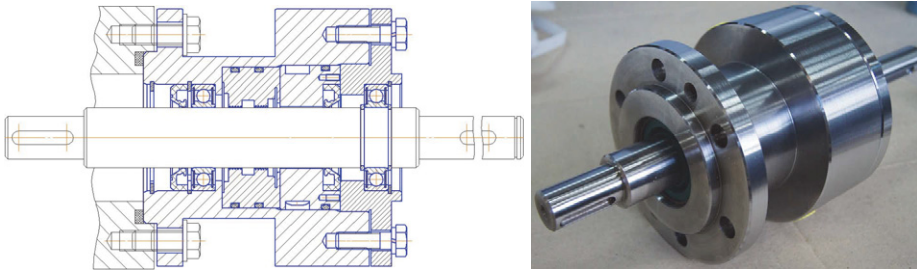


Рис. 7 Магнитожидкостный герметизатор для мешалки питателя TD-200.

Список литературы:

1. Беляев В.М. Расчет и конструирование основного оборудования отрасли [Текст] // В.М. Беляев, В.М. Миронов // Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2009.-288с.
2. Мельник В.А. Торцовые уплотнения валов: справочник

[Текст] / В.А. Мельник // М.: Машиностроение, 2008.- 320с.
3. Берковский Б.М. Магнитные жидкости [Текст] / Б.М.Берковский, В.Ф.Медведев, М.С. Краков // М.: Химия, 1989.-240с.
4. Розенцвейг Р. Феррогидродинамика [Текст] / Р. Розенцвейг // М.: Мир, 1989.-356с.

5. Радионов А.В. Влияние испаряемости магнитной жидкости на работоспособность и техногенную безопасность магнитожидкостных герметизирующих комплексов [Текст] / А.В. Радионов // Компрессорное и энергетическое машиностроение. – 2016.-№1 (43). – с. 25-31

6. Радионов А.В. Экспериментальное исследование динамических процессов в магнитной жидкости в неоднородном магнитном поле герметизатора вращающегося вала [Текст] / А.В. Радионов, А.А. Радионова, А.Д. Подольцев // Технічна електродинаміка. – 2017.-№2.-с.77-82.

7. О влиянии структурной организации на релаксацию магнитного момента дисперсных частиц в магнитной жидкости [Текст] / Д.В. Гладких, Ю.И. Диканский, К.А. Балабанов, А.В. Радионов // Журнал технической физики. – 2005.- Том 75, вып.10.-с.139-143.

8. Магнитная жидкость для работы в сильных градиентных полях [Текст] / А.Ф. Пшеничников, А.В. Лебедев, А.В. Радионов, Д.В. Ефремов // Коллоидный журнал. – 2015. – Том 77, №2. –с.207-213.

9. Куникин С.А. Магнитные коллоиды: особенности функциональных зависимостей магнитной восприимчивости [Текст] / С.А. Куникин, Ю.И. Диканский // LAP LAMBERT Academic Publishing, 2011.-151с.



Компримирование воздуха, технических и технологических газов

