

УДК 622.7

**А.В. Радионов, канд. техн. наук**

(Украина, Николаев, ООО «НПВП «Феррогидродинамика»)

## ОПЫТ ЭКСПЛУАТАЦИИ МАГНИТОЖИДКОСТНЫХ ГЕРМЕТИЗАТОРОВ В ПРОМЫШЛЕННОЙ ЭНЕРГЕТИКЕ

За 20 лет разработки, производства и внедрения магнитожидкостных герметизаторов (МЖГ) ООО «НПВП «Феррогидродинамика» накопило большой опыт по эксплуатации МЖГ, которые в настоящее время работают более чем на 150 предприятиях Украины, России, Казахстана, Узбекистана, Белоруссии, Польши, Молдовы, Эстонии и т.д.

Магнитожидкостные герметизаторы эксплуатируются на самом различном оборудовании на предприятиях химической, нефтеперерабатывающей, горнодобывающей промышленности, металлургии и топливно-энергетического комплекса. Практически полностью это оборудование находится в ведении главных энергетиков предприятий, поэтому в широком смысле можно говорить именно о применении МЖГ в промышленной энергетике [1].

Магнитожидкостные герметизаторы являются наиболее широко распространенными устройствами, в которых используются магнитные жидкости – искусственные жидкие среды, обладающие уникальным сочетанием свойств текучести и способности ощутимо взаимодействовать с магнитным полем.

Магнитные жидкости являются устойчивыми коллоидными дисперсиями твердых ферромагнитных частиц в жидкой основе. Основой может быть практически любая жидкость – вода, углеводороды, минеральные масла, силиконы и др. Дисперсная фаза состоит из частиц ферромагнитных материалов (магнетит, ферриты, железо, никель, кобальт и т. д.) размером 3-10нм. Тепловое движение не дает столь мелким частицам оседать под действием силы тяжести. С целью предотвращения слипания частиц между собой под действием магнитного поля в МЖ добавляются поверхностно-активные вещества. Наиболее широко используемые свойства магнитных жидкостей – способность удерживаться в определенной точке пространства магнитным полем и магнитожидкостная левитация, т.е. выталкивание немагнитных тел из МЖ, находящейся под действием магнитного поля [2].

Использование МЖ в уплотнительной технике позволило разработать магнитожидкостные уплотнения или магнитожидкостные герметизаторы, которые имеют ряд существенных преимуществ по сравнению с уплотнениями традиционных конструкций – практически полное отсутствие утечек герметизируемой среды при заданных условиях работы, низкие потери мощности, малый момент сопротивления и минимальный износ вследствие чисто жидкостного трения в зазоре между подвижными и неподвижными элементами, высокую ремонтпригодность и простоту обслуживания. К недостаткам МЖГ следует отнести ограниченность температурного диапазона, а также проблему совместимости магнитной жидкости и герметизируемой среды.

В целом, предельные рабочие параметры МЖГ ниже, чем параметры отдельных типов традиционных уплотнений, например, торцевых.

Однако в диапазоне невысоких давлений (до нескольких атмосфер), температур (до 100<sup>0</sup>С), линейных скоростей (до 25 м/сек) существует большое число случаев, когда МЖГ по эффективности и надежности значительно превосходят традиционные уплотнения. И многолетняя деятельность НПВП “Феррогидродинамика”, связанная с практическим использованием МЖГ, является этому подтверждением.

МЖГ эффективны прежде всего при уплотнении вакуума, паров, газов, для защиты подшипниковых узлов от капельной и мелкодисперсной влаги, от пыли и грязи, в т.ч. от мелкодисперсных абразивных сред, для предотвращения выбрасывания паров и капель масла из подшипниковых узлов с жидкой смазкой наружу.

В целом конструкция собственно МЖГ достаточно проста. Магнитожидкостный герметизатор состоит из кольцевых магнитопроводов (полюсных наконечников), охватывающих вал, постоянного магнита, расположенного между магнитопроводами, и корпуса, объединяющего части в цельную конструкцию, закрепляемую на корпусе герметизируемого механизма. Магнитное поле замыкается через вал и зазоры между полюсными наконечниками и валом, удерживая в них втягивающуюся туда магнитную жидкость. Этот слой магнитной жидкости, являясь своеобразным жидким сальником, полностью заполняет зазоры, оказывая герметизирующее действие и удерживая перепад давлений по разные стороны МЖГ.

В действительности подобную конструкцию в чистом виде не всегда удается использовать из-за достаточно сложных условий эксплуатации узлов уплотнений, в которых предполагается применение МЖГ. Как показал опыт эксплуатации и сравнительных испытаний, для защиты таких узлов с успехом можно использовать комбинированные герметизаторы, состоящие из собственно магнитожидкостного герметизатора и какого-либо традиционного уплотнения, что взаимно усиливает преимущества и ком-

пенсирует недостатки каждого типа уплотнений. Подобные комбинированные МЖГ выполняются в одном корпусе в виде единого блока.

За редчайшими исключениями, МЖГ разрабатывались в габаритах и с присоединительными размерами штатных уплотнений без необходимости каких либо доработок узлов, для которых они предназначались.

Поэтому замена неудовлетворительно работающих штатных уплотнений на более надежные магнитожиждкостные герметизаторы для ремонтных служб предприятий достаточно проста и практически сводится к замене крышки подшипникового узла. Единственным условием, которое необходимо соблюдать при установке МЖГ на место штатного уплотнения – строгое соблюдение величины рабочего зазора между магнитопроводами МЖГ и валом (0,2-0,3) мм и его равномерности.

Можно выделить несколько областей, представляющих практический интерес для работников промышленной энергетики, в которых МЖГ производства ООО «НПВП «Феррогидродинамика» представлены наиболее широко.

### **МЖГ для защиты от капельной и мелкодисперсной влаги**

Наиболее широко МЖГ устанавливались на электродвигатели различных марок (в основном с вертикальными валами), работающие в вентиляторных градирнях и аппаратах воздушного охлаждения (АВО). Как правило, МЖГ устанавливались взамен неудовлетворительно работающих штатных уплотнений (сальниковых, манжетных или лабиринтных) верхнего подшипникового узла электродвигателя для защиты от попадания внутрь капельной и мелкодисперсной влаги, водяного тумана и прочих загрязнений [3].

Условия работы электродвигателей достаточно тяжелые – в градирнях стоит облако крупных брызг, мелкодисперсной влаги, тумана, в АВО различных технологических установок орошение теплообменников значительной интенсивности происходит либо постоянно, либо периодически, но достаточно часто. Наиболее слабым местом при эксплуатации вышеуказанных электродвигателей является именно уплотнение верхнего подшипникового узла, служащее для предотвращения попадания влаги внутрь электродвигателя. Многолетняя эксплуатация показала недостаточную надежность данных типов уплотнений в подобных условиях работы, как в летнее, так и в зимнее время. Применение МЖГ дает возможность резко снизить затраты по эксплуатации вышеупомянутых электродвигателей.

Очевидно преимущество МЖГ перед сальниками и резиновыми манжетами – долговечность, лучшая герметизирующая способность, отсутствие физического контакта с валом и резкое увеличение межремонтного периода [4].

Подтверждением надежной работы МЖГ служит тот факт, что на некоторых заводах обслуживающий персонал, вынужденный ранее снимать электродвигатели для просушки обмотки, в настоящее время двигатели с сухой обмоткой и нормальным сопротивлением изоляции с целью экономии старается как можно дольше не выводить из эксплуатации, несмотря на то, что заводы-изготовители электродвигателей требуют замены смазки и ревизии подшипников раз в год-два.

За время своего существования «Феррогидродинамикой» было произведено более 2500 данных герметизаторов. Выпускались МЖГ для 9 типов электродвигателей вентиляторов градирен и 10 типов электродвигателей вентиляторов АВО, как уже снятых с производства, так и выпускаемых в настоящее время в странах СНГ, которые охватывают практически весь парк электродвигателей, находящихся в настоящее время в эксплуатации (ВАСО, ВАСВ, АСВО, ДАСО). Кроме того, изготавливались МЖГ для 5 типов электродвигателей вентиляторов АВО зарубежного производства (Японии, Чехии, Франции).

Установка МЖГ на электродвигатели типа ВАСО, ВАСВ, АСВО во взрывозащищенном исполнении без замечаний была согласована с Украинским научно-исследовательским, проектно-конструкторским и технологическим институтом взрывозащищенного и рудничного электрооборудования с опытно-экспериментальным производством УкрНИИВЭ (г. Донецк). Это согласование действует как в Украине, так и в странах СНГ.

Конструкции этих МЖГ подробно рассмотрел и изучил ОАО «ВНИИНЕФТЕМАШ» (г. Москва) и рекомендовал российским нефтеперерабатывающим заводам для внедрения. Ростехнадзор России в 1997 г. предписал ОАО «ВНИИНЕФТЕМАШ» проводить авторский надзор при поставке на производство оборудования (в том числе и привода вентиляторных градирен и АВО) с целью обеспечения соответствия выпускаемой продукции действующей нормативно-технической документации и требованиям ГОСТа 15001. В 2010 году ОАО «ВНИИНЕФТЕМАШ» согласовало степень защиты электродвигателей этого типа – не менее IP55 для привода вентиляторных градирен и не менее IP65 для привода АВО.

МЖГ производства «Феррогидродинамики» по заявке заказчика устанавливают на свою продукцию заводы-изготовители электродвигателей: ОАО «Сафоновский электромашиностроительный завод» (г. Сафонов, Россия), ЗАО «Завод Крупных Электрических Машин» (г. Новая Каховка), ООО «Новокаховский электромеханический завод» (г. Новая Каховка), ОАО «Первомайский электромеханический завод им. К. Маркса» (г. Первомайск Луганской области), ХК ОАО «Привод» (г. Лысьва, Россия). Исполнения двигателей с МЖГ включено в каталоги продукции заводов и опросные листы.

## **МЖГ подшипниковых узлов крупных электрических машин**

Значительное место по объему выпускаемой ООО «НПВП «Феррогидродинамика» продукции занимают герметизаторы подшипниковых узлов крупных электродвигателей с подшипниками скольжения.

Как правило, данное оборудование высокоскоростное (частота вращения роторов электродвигателей составляет обычно 750-3000 об/мин, диаметры валов в зоне уплотнения – 140-300 мм и более), на подшипниковых узлах устанавливаются бесконтактные уплотнения различных конструкций.

Именно высокие линейные скорости поверхностей валов и определяют тип уплотнения, который должен обеспечить допустимую температуру подшипникового узла.

Конструкции этих двигателей могут быть самыми разнообразными – с отдельно стоящими подшипниками скольжения, моноблочными с подшипниками скольжения, расположенными в центре подшипниковых щитов корпуса электродвигателя; моноблочными с вынесенными подшипниками. Кроме двигателей производства СССР и стран СНГ различных моделей (СДН, СТД, ДАЗ, ФАЗ и т.д.), в промышленности работает значительное количество разнообразных двигателей зарубежного производства.

Для подачи смазки к подшипниковым узлам этих двигателей чаще всего применяют централизованную систему смазки с принудительной подачей масла в опоры подшипников скольжения. Электроэнергия для питания обмоток роторов двигателей подводится через щеточные устройства с токоподводящими кольцами, расположенными на валу двигателя.

Основным недостатком бесконтактных уплотнений, используемых в качестве уплотняющих устройств, является невозможность обеспечения полной герметичности защищаемого им узла.

Поэтому при работе электродвигателя из подшипника скольжения через уплотнение обязательно будет происходить (в большей степени или меньшей степени) выбрасывание масла. Более того, на предприятиях в цехах, компрессорных, насосных, где находятся несколько таких двигателей, объединенных централизованной системой смазки, нередко можно заметить, как на неработающих двигателях из зазоров между уплотнениями и валом выходят облачка тумана – мелкодисперсной воздушно-масляной смеси, поступающей в полости подшипников по трубам масляной системы.

Далее масло, распыленное в воздухе, затягивается внутрь статора вместе с воздухом системой вентиляции двигателя и оседает на обмотке двигателя, ухудшая диэлектрические свойства изоляции обмотки. Кроме того, мелкая графитовая пыль от щеток щеточного устройства и пыль, находящаяся в воздухе, движением воздуха затягивается в двигатель и налипает на элементы конструкции двигателя, ухудшая охлаждение двигателя. Это может вызывать разрушение изоляции, замыкание токопроводов и т.п. Подобные аварийные ситуации иногда встречаются на различных предприятиях. Поэтому понятно желание эксплуатационников иметь уплотнения, обеспечивающие максимально возможную (в идеале – полную) герметичность подшипниковых узлов таких электродвигателей.

Конечно, можно применить целый ряд технических решений, направленных на улучшение работы бесконтактного уплотнения (маслоотражательные кольца, кольцевые проточки на поверхности вала, организация нескольких полостей в корпусе уплотнения с эффективным стоком масла из каждой из них), однако герметичности уплотнения добиться не удастся.

Для обеспечения герметичности можно применить магнитожидкостный герметизатор, устанавливаемый с внешней стороны бесконтактного уплотнения. Тепловыделения в таком уплотняющем устройстве будут невелики из-за чисто жидкостного трения в МЖ, находящейся в рабочем зазоре между валом и полюсными наконечниками МЖГ [5].

МЖГ прекрасно работают при уплотнении газов, паров, аэрозолей, однако при уплотнении жидких сред, особенно при достаточно высоких скоростях валов, возможно гидродинамическое перемешивание уплотняемой среды и МЖ, что будет вести к нарушению работоспособности герметизатора. Поэтому для нормальной и долговременной работы МЖГ надо принять меры, минимизирующие контакт масла с магнитной жидкостью. Данную функцию как раз и может выполнять развитое многоступенчатое бесконтактное уплотнение с развитым сбросом масла из каждой ступени, установленное между МЖГ и полостью подшипника. Как и само уплотнение, МЖГ должен выполняться разъемным, с фиксацией половинок от возможного сдвига. Наилучшим решением будет объединение двух уплотняющих элементов – бесконтактного уплотнения и МЖГ – в одной конструкции, в одном корпусе, в одном комбинированном уплотнении. Индивидуально подходя к каждому случаю, можно организовать несколько маслоулавливающих полостей (камер) и разместить МЖГ в габаритах существующих штатных уплотнений.

Комбинированные МЖГ, предназначенные для защиты узлов с подшипниками скольжения синхронных электрических двигателей, успешно работают на многих предприятиях Украины, России, Беларуси. Они устанавливались на различных крупных электродвигателях привода насосов и компрессоров – на электродвигателях СТД-1600 и СТМ-1500 на РУП «Минский автомобильный завод», г. Минск, 2ФА3 800-6000 и 4АЗМП-1600/6000 на ОАО «Концерн Стирол», г. Горловка, СДН 2,7-44-8У3 на ОАО «Азот» г. Черкассы, СДН 2-17-56-8у3 и СДН2-16-17-44 на Побужском ферроникелевом комбинате, 4В286-04НУ2 на ООО «Производственная Компания «Агро-Череповец», г. Череповец, 1ЕВ155-75-4z на ОАО «Гродно Азот», г. Гродно, 318-265-04НУ на ОАО «Одес-ский припортовый завод», ГЕК – 42585 на ЗАО «Северодонецкий Азот» и др.

За счет ликвидации излишнего нагрева обмотки, сохранения качества изоляции удалось, как минимум, в 2 раза увеличить межремонтный период работы электродвигателя. А в случае, если электродвигатель все равно проходил ремонт, связанный с общим капремонтом производства, где он установлен, то в 2...4 раза снизить стоимость ремонта, что также составляет значительный экономический эффект.

Именно поэтому в 2010 г. была согласована установка магнитожидкостного герметизатора на все типы синхронных машин для защиты подшипниковых стоек с заводом-изготовителем – ЗАО «Завод крупных электрических машин» (г. Новая Каховка), которое включило исполнение с МЖГ в свои номенклатурные справочники и опросные листы.

### МЖГ для защиты от пыли

Необходимо отметить такое свойство МЖГ, как способность МЖ выбрасывать наружу попадающие в рабочий зазор немагнитные частицы. По этой причине МЖГ является одним из немногих типов уплотнений, эффективно работающих в условиях сильной запыленности (в том числе абразивными частицами) или при уплотнении сыпучих материалов.

Наиболее типичным примером МЖГ, работающим в условиях сильной запыленности, можно назвать МЖГ подшипниковых узлов вентиляторов цеха пылеулавливания Запорожского алюминиевого комбината (ЗАЛК). Отсасываемые из цеха электролиза алюминия воздух и газы, направляемые затем на очистку, содержат большое количество абразивной пыли (оксиды алюминия, флюс и т.п.).

Крупные осевые вентиляторы ВОКД-2,4 устанавливаются в качестве вытяжных. В качестве штатных уплотнений подшипниковых узлов используются либо сальниковые уплотнения, либо уплотнения из профилированного резинового шнура. Крышки уплотнений разъемные. Масляная система вентиляторов централизованная, иногда в картерах подшипников возникает разрежение. В условиях сильной запыленности абразивными частицами и знакопеременного давления в картерах происходит сильный износ защитных втулок валов и попадание абразивной пыли в подшипники, бывают случаи выбрасывания масла из подшипниковых узлов. Для замены втулок и подшипников необходимо снятие вентилятора с большой высоты и его полная разборка.

После установки МЖГ взамен штатных уплотнений прекратилось попадание абразивной пыли в подшипниковые узлы, износ втулок, выбросы масла. После успешной эксплуатации одного комплекта МЖГ герметизаторы заказывались и устанавливались как на данные вентиляторы, так и на более крупные ВОД-30 [6].

Из последних работ по данной тематике следует отметить установку в этом году МЖГ на вентилятор главного проветривания ВОД-30М шахты «Терновская» ОАО «Павлоградуголь». В настоящее время в изготовлении находится еще один комплект МЖГ на такой же вентилятор.

### Выводы

Как видно из вышеизложенного, магнитожидкостные герметизаторы экономически целесообразно использовать для защиты дорогостоящего либо ответственного оборудования, которое не просто эксплуатируется в тяжелых условиях, но где необходимым условием нормальной работы является достижение полной стопроцентной герметичности. В данном случае используется основное преимущество МЖГ перед традиционными уплотнениями – полное отсутствие утечек или протечек.

К сожалению, МЖГ имеют не самую большую нишу применения. Но в упомянутых выше областях применения магнитожидкостные герметизаторы за счет увеличения ресурса и надежности оборудования достаточно быстро окупаются и являются экономически более эффективными, чем использовавшиеся ранее более дешевые по цене традиционные уплотнения.

### Список литературы

1. Радионов А. Анализ наиболее рациональных областей применения магнитожидкостных герметизаторов // 12th International scientific and engineering Conference "Hermetic Sealing, vibration reliability and ecological safety of pump and compressor machinery", Kielce – Przemysl, 9-12 September, 2008. – Kielce, 2008. – P.55-65..
2. Розенцвейг Р. Феррогидродинамика: Пер. с англ. – М.: Мир, 1989. – 356 с.
3. Радионов, А.В. Магнитожидкостные герметизаторы для привода вентиляторных градирен [Текст] / А.В. Радионов, А.В. Киричков, Г.А. Вошкин // Химическая техника – 2007, -№1. – С.18-21.
4. Радионов, А.В. Анализ опыта работы магнитожидкостных герметизаторов на СГПП «Объединение «Азот» [Текст] / А.В. Радионов, Н.В. Уваров // Химическая техника – 2003, – №9. – С.26-28.
5. Радионов, А.В. Комбинированные магнитожидкостные герметизаторы – эффективная альтернатива бесконтактным уплотнениям подшипниковых узлов с жидкой смазкой [Текст] / А.В. Радионов, А.Н. Виноградов // Збагачення корисних копалин: Наук.техн.зб. – 2009. – Вип. 35(76). – С.148-155.
6. Радионов, А.В. НПВП «Феррогидродинамика» – десять лет работы с предприятиями металлургической промышленности [Текст] / А.В. Радионов, В.Ф. Белый, А.Н. Виноградов // Теория и практика металлургии. – 2001. – № 1(21). С.60-63.

*Рекомендовано до друку проф. Куваєвим Ю.В.*

