

В поисках лучшей конструкции подшипников для воздуходувок на очистных сооружениях

Турбокомпрессор – это основной элемент в современном процессе очистки сточных вод, который должен обладать простой конструкцией, надежностью и высокой энергетической эффективностью.

Для перекачки больших объемов сжатого воздуха при относительно низком давлении наилучшим образом подходят подшипники, которые могут поддерживать высокую частоту вращения вала с минимальным сопротивлением в течение длительного срока эксплуатации.

На сегодняшний день на рынке воздуходувного оборудования представлены два вида таких подшипников: аэродинамические подшипники и активные магнитные подшипники.

Эдвард Паро (Sulzer) сравнивает преимущества и недостатки этих подшипников.

Ротор как единственный вращающийся элемент установки приводится в движение высокоскоростным двигателем, как правило, напрямую без промежуточных передач. В процессе работы вал турбокомпрессора достигает скорости вращения до 50 000 об/мин и может работать в таком режиме длительный период времени без капитального ремонта.

Такие условия эксплуатации накладывают ограничения на конструкцию подшипников. В современных нагнетателях применяют две различные конструкции подшипников.

Воздушные подшипники

Воздушные (пневматические) подшипники – это тип газовых подшипников, в которых используется давление воздушной прослойки между вращающейся и неподвижной частями механизма.



Тем самым обеспечиваются низкие потери на трение и высокая скорость вращения. Давление воздуха, необходимое для функционирования воздушных подшипников, может быть подано извне (аэростатические подшипники) либо создано самостоятельно вращением вала турбокомпрессора (аэродинамические подшипники).

В турбокомпрессорах получили широкое распространение подшипники, которые создают давление воздуха при вращении вала. Впервые аэродинамические подшипники были разработаны NASA в 1960-1970 гг. для применения в турбинах.

Конструкция современных аэродинамических подшипников выглядит следующим образом: в пространстве между вращающимся валом и неподвижным корпусом подшипника расположены два тонких металлических листа, покрытых материалом с низким коэффициентом трения, таким как PTFE (Политетрафторэтилен).

Внешний лист представляет из себя гофрированный вкладыш и называется упорным. Упорный вкладыш может изгибаться и демпфировать нагрузку при вибрации вала и нестабильной работе турбокомпрессора.

Внутренний лист металла, называемый верхним вкладышем, имеет цилиндрическую форму и расположен почти вплотную к шейке вала. Когда вал вращается, воздух втягивается между валом и верхним вкладышем, образуя малый зазор с высоким давлением воздуха в нем. Это позволяет валу вращаться с минимальным трением.

Рисунок 1: Аэродинамические подшипники являются экономичным решением, но требуют высокого качества очистки воздуха

Магнитные подшипники

Магнитные подшипники поддерживают вращающийся ротор в подвешенном состоянии благодаря магнитной левитации.

Большинство магнитных подшипников имеют схожую конструкцию: магниты расположены по окружности внутри подшипникового узла, а вал изготовлен из ферромагнитного материала.

Магниты притягивают вал, и, когда силы, действующие на вал, уравниваются, вал занимает положение в центре подшипникового узла и может вращаться с очень низким коэффициентом трения.

Конструкция с электромагнитными подшипниками имеет внешний источник питания и систему управления электромагнитами, что, в свою очередь, позволяет изменять силу воздействия отдельных магнитов на ротор.

Датчики положения ротора, расположенные в подшипниковом узле, постоянно отслеживают положение ротора в пространстве и передают информацию в систему управления. На основе этих показаний изменяется мощность электромагнитов, поддерживая ротор в оптимальной позиции.

Простота и гибкость

Аэродинамические и магнитные подшипники – отличное решение для высокоскоростного оборудования. Оба типа подшипников обеспечивают низкий коэффициент трения без необходимости использования смазочных материалов, а значит не требуют периодического обслуживания.

Конструкции разработаны с учетом особенностей процессов и опыта применения в различных условиях. Оба типа подшипников имеют свои сильные и слабые стороны. Эти особенности могут иметь важные последствия при выборе типа подшипника для разных применений.

Аэродинамические подшипники работают без подачи внешнего питания или системы управления. Это позволяет снизить стоимость оборудования – основное преимущество аэродинамических подшипников, особенно для турбокомпрессоров малого типоразмера.

Однако, когда воздушный подшипник начинает свою работу, вращающийся ротор и неподвижная часть подшипника соприкасаются друг с другом до тех пор, пока скорость вращения ротора не станет достаточной для образования воздушной пленки. Как правило, контакт между ротором и подшипником сохраняется до достижения ротором скорости вращения 5000 об/мин.

Рисунок 2: Магнитные подшипники обладают превосходной надежностью и могут выдерживать более высокие нагрузки.

С течением времени многократные запуски и остановки оборудования приводят к износу поверхностей вкладышей и износу антифрикционного покрытия, которые в конечном итоге требуют замены. Чтобы свести к минимуму количество запусков и остановок, турбокомпрессоры с воздушными подшипниками часто оставляют работать на холостом ходу, что значительно увеличивает общее энергопотребление за весь срок службы оборудования.

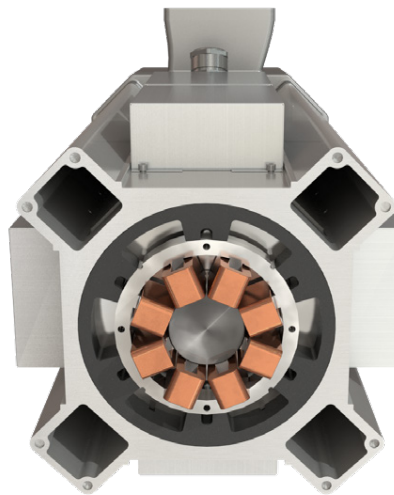
Для применений, где требуется периодическая подача воздуха, срок жизни аэродинамического подшипника может быть значительно снижен. Аэродинамические подшипники также склонны к повреждению при попадании твердых частиц между статором и стационарной частью подшипника. Для снижения риска таких повреждений производители предъявляют строгие требования к фильтрации входного воздуха.

Активные магнитные подшипники не имеют таких ограничений. Магнитный подвес статора работает даже когда статор не вращается. Таким образом, количество циклов запуск-останов никак не влияет на срок жизни оборудования. Работа оборудования на холостом ходу также требуется.

Ограничения по размеру

Другие ограничения воздушных подшипников проявляются с увеличением типоразмера турбокомпрессора.

Аэродинамические подшипники имеют относительно низкую несущую способность, особенно в осевом направлении. Из-за этого большие турбокомпрессоры используют два рабочих колеса на разных концах вала, компенсируя осевую нагрузку, но снижая общую эффективность агрегата. Воздушные подшипники больших размеров склонны к перегреву, так как сжатие воздушной пленки приводит к повышению температуры.



Как следствие, турбокомпрессоры мощностью от 150 кВт требуют дополнительное охлаждение с помощью жидкостного контура.

Магнитные подшипники способны выдерживать гораздо более значительные нагрузки без необходимости дополнительного охлаждения. Они также обладают отличным демпфирующими характеристиками, которые помогают компенсировать переходные нагрузки, вызванные скачками напряжения и другими процессами.

Инновации в управлении

Самый большой недостаток магнитных систем связан с их сложностью. Активные магнитные подшипники требуют сложной управляющей электроники и постоянного источника питания. Первое означает, что магнитные подшипники, как правило, имеют более высокую первоначальную стоимость, чем воздушные подшипники, а последнее имеет последствия для конструкции машины.

Турбокомпрессоры, в которых используются магнитные подшипниковые системы, обычно должны иметь резервный источник питания либо конденсаторы или батареи, которые могут обеспечить достаточно энергии, чтобы остановить машину безопасно в случае потери внешнего питания. Чтобы дополнительно защитить машину в случае серьезной проблемы, конструкции магнитных подшипников, как в турбокомпрессорах Sulzer HST, имеют страховочные подшипники, расположенные на расстоянии нескольких десятых миллиметра от вала. В том крайне маловероятном случае, если система магнитных подшипников отключается, страховочные подшипники «ловят» вал, позволяя безопасно остановить машину.

В то время, как системы управления, необходимые для магнитных подшипников, являются достаточно сложными, последние разработки в области электроники значительно повысили их надежность и снизили стоимость. Индуктивные датчики, используемые для определения положения вала - это простые и надежные компоненты, не требующие обслуживания.

Автор:

Edward Paro, Portfolio Manager, Aeration, Water Business Unit, Sulzer Pumps Finland Oy

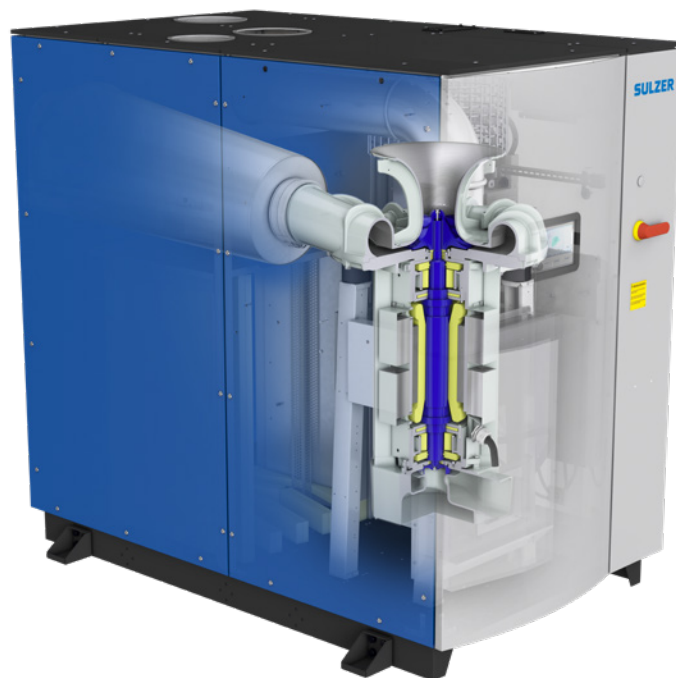


Рисунок 3: Турбокомпрессор HST использует магнитные подшипники уже почти 25 лет, причем многие из них все еще находятся в эксплуатации

Связанное будущее

В качестве дополнительного преимущества системы с магнитными подшипниками обеспечивают “встроенные” возможности контроля состояния компрессора. Система управления постоянно собирает данные о точном положении вала, позволяя обнаруживать и анализировать вибрацию, рассогласование и другие ранние предупреждающие признаки потенциальных проблем.

Компания Sulzer уже почти 25 лет использует магнитные подшипники в своей линейке турбокомпрессоров HST. Первые машины HST были установлены в 1996 году и до сих пор находятся в эксплуатации. Подшипники и системы управления, используемые в этих агрегатах, были разработаны собственными силами. Компания Sulzer продолжает разрабатывать конструкцию собственных подшипников и систем управления по сей день. Этот опыт дал большую уверенность в технологии и помог в улучшении производительности и надежности.