

#### Список литературы:

1. Алексеев В.П., Коблов Н.Н., Хрулев Г.М. Современные технологии автоматизации проектирования РЭА специального назначения. Томск: Изд-во Ин-та оптики атмосферы СО РАН, 2003. 134 с.
2. Коблов Н.Н., Черватюк В.Д., Чекрыгин С.С. Повышение эффективности проведения изменений в конструкторской документации // Электронные и электромеханические системы и устройства : тез. докл. науч.-техн. конф. молодых специалистов ОАО «НППЦ «Полус». Томск, 2013. С. 213–215.
3. Бланшет Ж., Саммерфилд М. Qt 4: программирование GUI на C++ : пер. с англ. 2-е изд., доп. М. : КУДИЦ-ПРЕСС, 2008. 736 с.
4. Lumsdaine A., Siek J.G., Lie-Quan Lee. The Boost Graph Library: User Guide and Reference Manual. Indianapolis: Addison-Wesley Professional, 2001. 321 p.
5. Коблов Н.Н. Разработка и внедрение автоматизированной системы управления инженерными данными // Электронные и электромеханические системы и устройства : тез. докл. XVIII науч.-техн. конф. (Томск, 22–23 апр. 2010 г.) Томск : Печатная мануфактура, 2010. С. 228–230.

### **Математическое моделирование статических характеристик газодинамической опоры шарового гироскопа**

Кузьма А.А.

Научный руководитель: Голиков А.Н., зав. лаб. каф. ТПС ИНК

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30

E-mail: nastena@tpu.ru

Газодинамическая опора это такая опора, в которой шип и подшипник полностью разделены слоем газовой смазки, а несущая способность образуется за счет появления в зоне малых зазоров повышенного давления, которое обуславливает появление результирующей подъемной силы, уравнивающей массу шипа. Смазывающим веществом в таких опорах является воздух или газ [1].

Применение газодинамической опоры (ГДО) в основном определяется теми особенностями, которые характерны для природы газовой смазки [2]. Газ имеет малую вязкость. Окружающая температура оказывает на нее малое влияние. Еще меньшее влияние на вязкость оказывает давление окружающей среды. Такая стабильность вязкости газовой среды и ее малая величина открывает широкие возможности применения газовых опор в устройствах, работающих на высоких оборотах в широком диапазоне рабочих температур. Газовые опоры также могут применяться в зонах повышенной радиоактивности, поскольку органические смазки в таких условиях теряют свои рабочие свойства. Кроме того, газодинамические опоры, в отличие от любых других, практически не имеют ограничений по сроку службы вследствие отсутствия износа в процессе работы, а также обладают хорошей стабильностью работы [2]. Поэтому, газодинамические опоры находят широкое применение в навигационном приборостроении [1,2], а именно в прецизионных гироскопических приборах.

Основной целью исследований является оценка возможности технической реализации чувствительного элемента на основе гироскопа с газодинамическим подвесом шарового ротора для информационно-измерительных комплексов навигационного сопровождения бурения [1].

Шаровой гироскоп состоит из следующих основных частей: ротора, представляющего собой стандартный подшипниковый шарик, помещенного между двумя полусферическими чашами. Шар имеет осевое отверстие, в полюсных частях которого расположены подвижные элементы датчика угла, вмонтированного в осевое отверстие чаш.

Сферические поверхности чаш обработаны таким образом, чтобы диаметр образующей сферы был на  $5\div 10$  мкм больше фактического диаметра шарика. За счет этого достигается начальный зазор, необходимый для работы подвеса в режиме газовой смазки. Ротор приводится во вращение электромагнитным полем статора, запитанного от трехфазной сети 36–40 В, частотой 500–1000 Гц.

При вращении ротора, газ, в силу своей вязкости, вовлекается в начальный зазор между чашами и ротором, и при дальнейшем притоке газа в зазоре возникает избыточное давление вследствие чего ротор «всплывает», и при его вращении с номинальной скоростью обеспечивается режим постоянной газовой смазки.

Полусферическая конфигурация рабочих поверхностей ГДО была выбрана именно потому, что она является наиболее целесообразной с точки зрения обеспечения достаточных запасов по несущей способности и жесткости газодинамической опоры, а также стабильности положения оси вращения шарового гироскопа [1].

Применение данного типа подвеса в информационно-измерительных комплексах подразумевает, что опора будет работать в жестких механических и климатических условиях. Поэтому, теоретические и экспериментальные исследования необходимы для оценки работоспособности ГДО в таких условиях.

К основным характеристикам, совокупность которых характеризует эффективность, эксплуатационную надежность и экономичность узлов с газовой смазкой, относятся: несущая способность, жесткость опоры, величина моментов вязкого и сухого трения (значение последнего важно только в первоначальный момент запуска) [1].

На характеристики газодинамической опоры, и в первую очередь на ее несущую способность, влияет ряд геометрических характеристик (радиус опоры, зазор, наличие канавок и т.п.), параметры газовой среды (вязкость, длина свободного пробега молекул газа, давление и температура), магнитное тяжение, вызванное электроприводом, геометрические погрешности контактных поверхностей, а также нагнетательная способность микропрофиля опоры, если таковой имеется, и т.д. [3].

Построение характеристик сферических опор, как правило, требует сложной математической постановки. Современные программные продукты позволяют решать некоторые основные задачи газовой динамики. Среди прочих, наиболее подходящими для решения данной задачи, можно отметить следующие: LS-DYNA, ABAQUS, ANSYS, Flow Vision и др.

Математическая модель базируется на решении системы уравнений, основанных на фундаментальных законах сохранения массы, импульса и энергии. Система замыкается начальными и граничными условиями, а также определяющими соотношениями. При учете эффектов, не учитываемых сгруппированной системой уравнений, в систему вводили специальные уравнения модели турбулентности и пр. В конечном счете, полученная синтезированная система представляет собой уравнение Навье-Стокса, которое является общим уравнением динамики ламинарных потоков вязкого газа.

#### Список литературы:

1. А.А. Кузьма, М.С. Плеханов, А.Н. Голиков. Разработка и некоторые исследования элементов для гироскопа с газодинамическим подвесом шарового ротора // Контроль. Диагностика №13, 2012 г.

2. И.В. Яковлев. Статические характеристики сферических газодинамических опор // сборник трудов МАИ «Исследование вибраций, прочности и конструкции деталей авиадвигателей». М., «Машиностроение», 1968.

3. Дубинин А.В., Смолян К.В. Зависимость несущей способности газодинамической опоры динамически настраиваемого гироскопа от зазоров в газодинамической опоре // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. «Приборостроение». 2012.