

Рис. 4. Зависимость вертикально ускорение от времени при ударе

Для определения погрешности при нахождении силы оценивают разность ускорения груза и номинального значения ускорения свободного падения по времени падения и заносят в отчет. Оценивают предел допускаемой относительной погрешности воспроизведения силы с доверительной вероятностью $P = 0,95$. Погрешность воспроизведения средней динамической силы при ударе не должна превышать 5 %.

При проведении измерений динамической силы необходимо соблюдать требования безопасности. Рекомендуемое количество специалистов при проведении работ - не менее двух. При проведении измерений в эксплуатационных условиях необходимо, чтобы все специалисты были одеты в оранжевые светоотражающие жилеты, а также в обязательном порядке на пути присутствовал сигналист. Калибровку системы контроля силового воздействия колес на рельсы проводят при температуре воздуха от -25 до $+35$ °С, атмосферном давлении: 84-107 кПа (630-800 мм рт. ст.) и относительная влажность воздуха: от 30 до 80%.

Список использованных источников

1. Степанова Л.Н., Бехер С.А., Кочетков А.С. Анализ погрешностей измерения вертикальных сил, действующих на рельс от колес движущегося транспортного средства// Контроль. Диагностика– 2010–№12– С. 54–61
2. Степанова Л.Н., Кабанов С.И., Бехер С.А., Коломеец А.О. Тензометрическая система для обнаружения дефектов поверхности катания колес грузового вагона //Датчики и системы– 2013–№10 (173) – С. 38–44

ОЦЕНКА ОСНОВНЫХ СТАТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ГАЗОДИНАМИЧЕСКОЙ ОПОРЫ ШАРОВОГО ГИРОСКОПА

Голиков А.Н., Кузьма А.А.

Томский политехнический университет

Газодинамической называют опору, 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]. Газы обладают меньшей вязкостью по сравнению с жидкостями. Окружающая температура оказывает на свойства газа малое влияние. Еще меньшее влияние 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 [1,2].

Основной целью исследований является построение математической модели основных статических характеристик ГДО для оценки возможности применения данного вида опоры в качестве подвеса шарового ротора гироскопа, который планируется использовать в качестве датчика положения в информационно-измерительных комплексах навигационного сопровождения бурения [1, 3].

Применение данного типа подвеса в информационно-измерительных комплексах подразумевает, что опора будет работать в условиях жестких механических и климатических факторов. Поэтому, экспериментальные и, особенно, теоретические исследования играют крайне важную роль в оценке работоспособности ГДО в таких условиях.

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

Ряд геометрических характеристик, таких как радиус опоры, зазор, наличие канавок, а также параметры газовой среды (вязкость, длина свободного пробега молекул газа, давление и температура), магнитное тяжение, вызванное электроприводом, геометрические погрешности контактных поверхностей, нагнетательная способность микропрофиля опоры (если таковой имеется), и другие параметры, оказывают огромное влияние на характеристики газодинамической опоры в целом [3].

При проектировании опорных узлов, работающих на газовой смазке, математическое моделирование характеристик ГДО выходит, практически, на первый план, поскольку эксперимент в данной области крайне затруднен и дорогостоящ по причине сверхтонких зазоров между поверхностями трения.

На данный момент, существует ряд универсальных программных средств, которые используются для решения некоторых задач газовой динамики. Такими программными средствами являются: LS-DYNA, ABAQUS, модули ANSYS – CFX и Fluent, Flow Vision и др.

Среди прочих, наиболее подходящим в конкретном случае, является программный пакет ANSYS 15.0 (модули Fluent и CFX). Математическая модель в нем 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 представляла собой уравнение Навье-Стокса, которое является общим уравнением динамики ламинарных потоков вязкого газа.

Приведем некоторые результаты расчетного моделирования ГДО.

На рис. 1 представлена конструкция шарового гироскопа с ГДО, на которой показаны следующие основные элементы: разрабатываемый макет состоит из двух полусферических чаш 7, в полости которых помещен ротор 1, на основе стандартного подшипникового шарика. Ротор имеет осевое отверстие, в полюсных частях которого запрессованы подвижные элементы двухкоординатного датчика угла 4. В одной из чаш располагается ответная часть двухкоординатного датчика угла 3. Диаметр образующей сферы чаши на $5\div 10$ мкм больше фактического диаметра шарового ротора, который составляет 28,587 мм, за счет чего обеспечивается начальный зазор.

Шаровой ротор приводится во вращение трехфазным асинхронным статором 2. Питание электропривода 40 В, при частотах 500 или 1000 Гц.

На общем виде не показаны элементы управления положением шарового ротора.

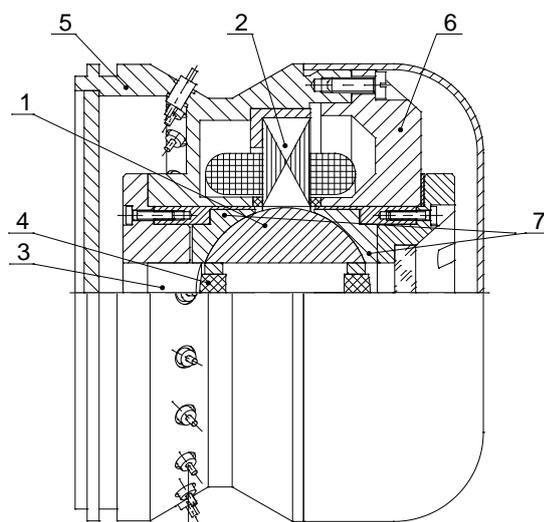


Рис. 1. Общий вид макета гироскопа с газодинамическим подвесом шарового ротора:
 1 – шаровой ротор, 2 – статор электропривода, 3 – двухкоординатный датчик угла,
 4 – ответная часть датчика угла, 5 – корпус прибора, 6 – крышка прибора,
 7 – полусферические опоры

Исходные данные для расчета, приведенные в таблице 1, содержат информацию о геометрических характеристиках, параметрах газовой среды и скорости вращения.

Таблица 1. Исходные данные для расчета параметров рабочего варианта газодинамической опоры (непрофилированной)

Математическая модель в программной среде ANSYS	Низкорейнольдсовая модель турбулентности
Диапазон рассматриваемых величин зазора, мкм	2÷20
Величина наименьшего зазора, обеспечиваемого материально-технической базой, мкм	5
Номинальная частота вращения ротора, обеспечиваемая при частотах питающей сети, рад/с	
500 Гц	850
1000 Гц	1675
Газовая среда	воздух
Тип модели газовой среды	incompressible ideal gas
Условия для температуры и давления	н.у.

На основании имеющихся исходных данных, указанных в таблице 1, с использованием программного комплекса ANSYS 15.0 – Fluent была построена двумерная модель системы «ротор-опора» и был произведен расчет действующего давления в зазоре опоры. Результаты моделирования представлены на рисунке 2.

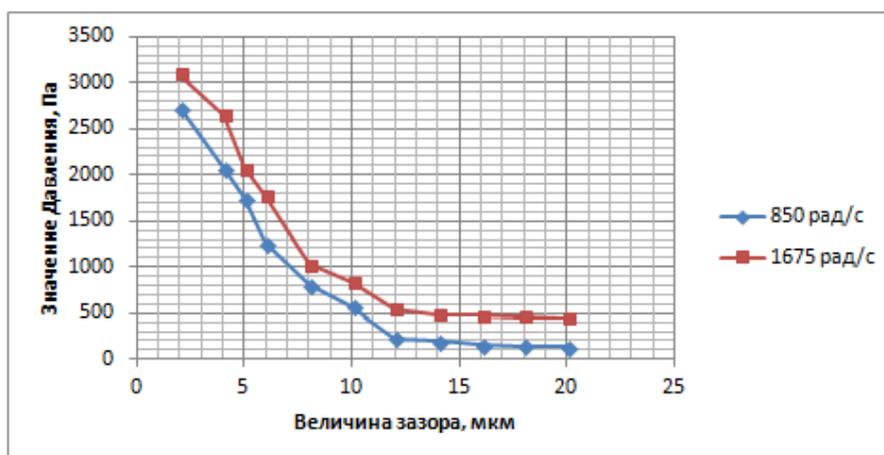


Рис. 2. Зависимость распределения давления от величины зазора в опоре при номинальных частотах вращения ротора 850 рад/с и 1675 рад/с

С увеличением зазора, величина давления в зазоре падает, что снижает эффективность подъемной силы подшипника. Наибольшее значение давления можно получить при величине зазора менее 2-х мкм. Реально, минимальная величина зазора, которую можно обеспечить на натурной модели из имеющейся элементной базы, составляет порядка 5 мкм.

В таблице 2 представлены результаты математического моделирования и оценочного расчета параметров газового слоя для величины зазора 5 мкм, при двух основных номинальных частотах вращения ротора, согласно таблице 1.

Таблица 2. Основные расчетные характеристики газодинамической опоры (непрофилированной)

Параметр	Значение	
	Частота вращения ротора, рад/с	850
Вес шарового ротора, Н	0,8	
Характерная площадь подвеса, см ²	4	
Значение действующего давления, Па	1749,2	2067,3
Значение подъемной силы подшипника, Н	0,7	0,83
Максимальная величина момента вязкого трения, Н·м	0,0012	0,0023

Расчетные значения подъемной силы подшипника показывают, что при величине зазора, равном 5 мкм, и номинальной частоте вращения ротора 850 рад/с, опора, при заданной нагрузке (собственный вес), не будет работать в режиме газовой смазки. Значение подъемной силы меньше веса самого шарового ротора.

При натурном моделировании картина иная. Предполагается, что из-за технологических погрешностей формы рабочих поверхностей полусферической опоры ее нагнетательная способность возрастала, что в теоретической модели не наблюдалось, поскольку нагнетательная способность опоры не учитывалась, ввиду рассмотрения гладкой, идеальной формы полусферической опоры [4].

При номинальной частоте вращения 1675 рад/с, опора выходит на режим газовой смазки, что было подтверждено экспериментально.

Величина момента вязкого трения влияет на время разгона ротора, определяет требуемую мощность электропривода, характеризует нагрев, а также оказывает влияние на чувствительность прибора. Чем больше зазор в опоре, тем меньше становится влияние момента вязкого трения, но, вместе с тем, становится меньше величина несущей способности и жесткости опоры, а также снижается чувствительность прибора [1].

Уменьшение этих основных параметров будет отрицательно сказываться на возможности использования данного вида подвеса в предполагаемой сфере применения. Поэтому, основным решением по уменьшению влияния момента вязкого трения является введение газовой среды. Это позволит снизить величину аэродинамического сопротивления и ускорить процессы теплоотвода, а также позволит обеспечить построение надежной чувствительной системы с удовлетворительными показателями точности.

Исследования основных статических характеристик газодинамической опоры шарового гироскопа показывают сходимость результатов математического и натурального моделирования [1], поскольку и в том и в другом случае было установлено, что эффективность такой реализации не высока в части несущей способности и, очевидно, чувствительности гироскопического прибора как инерциального датчика. Необходимо отметить, что геометрические погрешности поверхностей ротора и полусферических чаш в модели не учитывались. Дальнейшие исследования будут направлены на отработку физико-математической модели, оптимизацию конструкции и параметров шарового гироскопа, а также на решение ряда других вопросов, касающихся оценки затрат и достижения приемлемых результатов.

Список использованных источников

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.
4. Голиков А.Н., Плеханов М.С., Кузьма А.А. Контроль геометрии элементов газодинамического подвеса шарового ротора // Электронные и электромеханические системы и устройства: тез. докл. науч.-техн. конф. Молодых специалистов, ОАО «НПЦ Полус». – Томск, 2013.

СПОСОБ ИЗГОТОВЛЕНИЯ КОНТРОЛЬНЫХ ОБРАЗЦОВ ДЛЯ КАПИЛЛЯРНОЙ ДЕФЕКТОСКОПИИ ИЗ НЕМЕТАЛЛОВ ПО РАЗНЫМ КЛАССАМ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ

Калиниченко Н.П., Лобанова И.С., Калиниченко А.Н., Могильницкий В.С.
Национальный исследовательский Томский политехнический университет

Капиллярные методы нашли широкое применение в неразрушающем контроле, при контроле ответственных деталей в авиастроении, энергетике, машиностроении и прочих отраслях хозяйства.

Основными средствами при проведении капиллярного контроля являются дефектоскопические материалы и контрольные образцы.

Разновидности образцов, используемых в разных странах, примерно одинаковы. Образцами служат забракованные детали с естественными трещинами, либо пластины, диски и другие изделия с преднамеренно образованными трещинами. Наиболее широко применяют образцы в виде пластин с хрупким металлическим, гальваническим или химическим покрытием либо с поверхностью, упрочненной химико-термической обработкой – азотированием. Трещины получают деформацией образцов путем изгиба или растяжения, либо вдавливанием пуансона с цилиндрической или сферической формой