

Силовые эффекты при массодинамическом взаимодействии в вихревой трубе Ранка-Хилша

В.Н. Самохвалов

Аннотация—Представлены результаты экспериментов с модифицированной вихревой трубой. Исследован механизм возникновения вращения осевого сердечника в вихревой трубе в направлении, противоположном вращению воздушного вихря. Показано, что в основе силового массодинамического взаимодействия лежит возбуждение прецессии механических спинов атомов. Рассмотрена физическая аналогия возникновения магнитного поля при вращении ферромагнетиков и массодинамического поля при нестационарном вращении неферромагнитных масс. Проведен анализ возникающего при этом силового массодинамического взаимодействия.

I. ВВЕДЕНИЕ

Между механическим моментом атомов (векторной суммой спина ядра, спинов электронов и их орбитальных моментов) и магнитным моментом атомов ферромагнитных тел существует взаимосвязь. Известен эффект Барнетта (механомагнитный эффект, 1909 г.) [1, с. 48] и эффект Эйнштейна – де Хааза (магнитомеханический эффект, 1915 г.) [1, с. 860]. Первый заключается в том, что при механическом вращении ферромагнетика происходит его слабое намагничивание вдоль оси вращения при отсутствии внешнего магнитного поля. Второй эффект проявляется в повороте свободно подвешенного ферромагнитного тела при его намагничивании вдоль оси вращения во внешнем магнитном поле.

Эффект Барнетта объясняется тем, что при быстром вращении ферромагнетика создается гироскопический момент, стремящийся повернуть механические моменты атомов по направлению оси вращения ферромагнетика. Механический момент атома связан с его магнитным моментом. Поэтому при вращении ферромагнетика появляется преимущественная ориентация магнитных моментов атомов, то есть слабое намагничивание ферромагнетика вдоль оси вращения. Ферромагнетик намагничивается пропорционально угловой скорости

вследствие спиновой поляризации электронов и ядер атомов, его составляющих.

Эффект Эйнштейна – де Хааза объясняется тем, что когда происходит намагничивание образца, магнитные моменты поворачиваются, но с ними связаны механические моменты атомов или молекул, которые также изменяются. Намагничивание (размагничивание) ферромагнетика сопровождается появлением (исчезновением) суммарного механического момента атомов, направленного вдоль оси образца. Изменения механических моментов происходят за счет внутренних сил, а поскольку система замкнута (т.е. полный момент образца сохраняется), то в этом случае кристаллическая решетка получает обратный механический момент, пропорциональный приобретенной намагниченности.

Экспериментально установленные магнитомеханические эффекты очень малы. Эйнштейн и де Хааз, добиваясь заметного проявления эффекта, пропускали по обмотке соленоида переменный ток. Образец, периодически намагничиваясь и размагничиваясь, приходил в колебательное движение. Эффект усиливался, если частота изменения внешнего поля (частота переменного тока, изменяемая в опыте) совпадала с частотой собственных колебаний цилиндра, т.е. наблюдалось явление резонанса.

Эксперимент Барнетта проводился при вращении хорошо сбалансированных тел. Напряженность наведенного магнитного поля в опытах Барнетта была много ниже напряженности магнитного поля Земли.

II. АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ПРЕДШЕСТВУЮЩИХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

Экспериментами Барнетта и Эйнштейна – де Хааза доказана связь между изменением механических моментов атомов ферромагнитного материала и возникновением вращения всего тела и показано изменение механических моментов атомов при вращении тела (для ферромагнитных материалов) – их ориентация относительно оси вращения. Это дает основание полагать, что связь между изменением механических моментов атомов и возникновением вращения всего тела, а также изменение механических моментов

атомов при вращении тела, будет иметь место и у неферромагнитных материалов.

В эффекте Барнетта остаточная намагниченность ферромагнетика не наблюдается. Это означает, что имеет место не ориентация механических моментов (и связанных с ними магнитных моментов) относительно оси вращения, которая должна была остаться после прекращения вращения, а происходит ориентация моментов прецессионного движения механических спинов относительно оси вращения. После прекращения вращения прецессия механических спинов атомов затухает. Энергия прецессионного вращения рассеивается, аналогично тому, как прекращается прецессия гироскопа после исчезновения внешнего силового воздействия, намагниченность исчезает.

Аналогично, эффект Эйнштейна – де Хааза проявляется только при переменном магнитном поле, которое вызывает прецессию магнитных спинов и связанных с ними механических спинов атомов, что приводит к повороту (вращению) ферромагнетика. Постоянное магнитное поле не вызывает прецессию магнитных спинов.

Таким образом, в основе магнитомеханических явлений лежит прецессия механических спинов атомов.

Крайне малая величина магнитомеханических эффектов позволяет предположить, что эффекты, обусловленные поляризацией механических спинов атомов, при вращении неферромагнитных материалов будут еще более малыми в своем силовом (механическом) проявлении. Но в описанных выше экспериментах рассматривалось вращение сбалансированных масс.

В то же время, в экспериментах автора [2], [3] установлено, что при вращении (в условиях технического вакуума) динамически несбалансированных масс (дисков) из неферромагнитных материалов возникает достаточно большое силовое взаимодействие дисков и их силовое воздействие на расположенные рядом экраны и рамки из различных материалов (неферромагнитных и, в том числе, не электропроводных).

Динамический дисбаланс вращающейся массы (переменный квадрупольный момент) является необходимым условием. Такое вращение вызывает прецессию механических спинов атомов материала диска. Прецессия механических спинов атомов приводит к возникновению массодинамического поля вращающегося диска, аналогично тому, как прецессия магнитных спинов приводит к возникновению магнитного поля у вращающегося ферромагнетика.

Представленные ниже результаты экспериментальных исследований показывают, что массодинамическое взаимодействие проявляется не только при вращении динамически несбалансированных твердых тел, но также при нестационарном вихревом вращении газов.

III. ЭКСПЕРИМЕНТЫ С ВИХРЕВОЙ ТРУБОЙ

А. Экспериментальное оборудование

Принципиальная схема экспериментальной установки показана на рис. 1. Установка включает вихревое устройство (1) с осевым сердечником, имеющим возможность свободного вращения. Измерение скорости вращения сердечника производилось бесконтактным (лазерным) цифровым тахометром Mastech MS6208B. Луч тахометра (2) направлялся на легкий диск (3) с отражающей полосой, закрепленный на конце осевого сердечника выходящего из вихревого устройства.

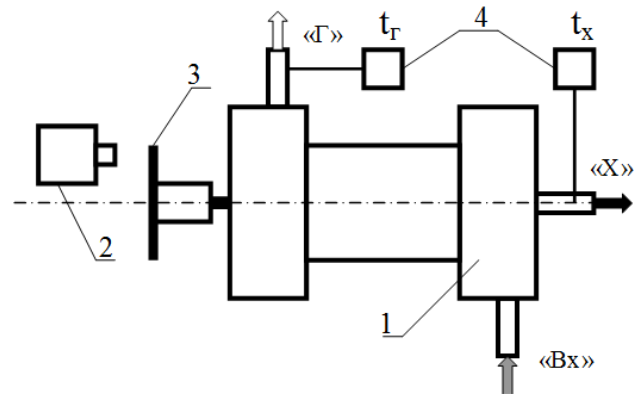


Рис. 1. Принципиальная схема экспериментальной установки: 1 – вихревое устройство, 2 – бесконтактный тахометр, 3 – диск, 4 – электронные термометры.

На входной штуцер “Вх” вихревого устройства подавалось давление из сети сжатого воздуха ($p_{вх} = 1...6$ кгс/см²). Измерение температуры выходящего из вихревого устройства охлажденного и нагретого воздуха производилось с использованием двух мультиметров Mastech MY64 (4), концы штатных термопар которых устанавливались внутри резиновых трубок надетых на штуцеры “Х” (холодный) и “Г” (горячий) вихревого устройства.

Вихревое устройство создано на базе модифицированной противоточной вихревой трубы. Общий вид и принципиальная схема устройства представлены на рис. 2.

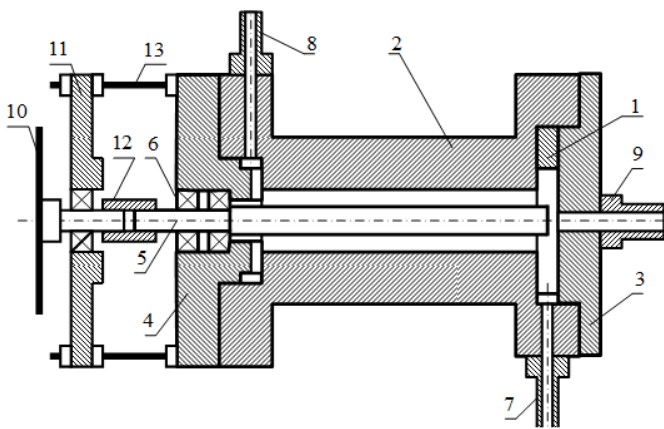
Внутренний диаметр цилиндрической камеры расширения вихревой трубы (2) равен 10 мм, длина камеры расширения – 76 мм. Вход вихревой трубы – улиточный, толщина “улитки” (1) – 2,5 мм.

Внутри вихревой трубы расположен гладкий цилиндрический металлический осевой сердечник (5), установленный в корпусе на двух подшипниках качения (6). Длина консольной части сердечника внутри камеры расширения вихревой трубы равна 87 мм. Через втулку (12) сердечник связан с диском (10), вращающимся на шарикоподшипнике в обойме (11), которая соединена регулировочными шпильками (13) с корпусом вихревой трубы.

В экспериментах использовались стальные осевые сердечники диаметром 4 мм, 5 мм и 6 мм, изготовлен-



(a)



(b)

Рис. 2. Вихревое устройство: а) общий вид, б) принципиальная схема: 1 – “улитка”, 2 – камера расширения, 3 – прижимная крышка, 4 – крышка со спрямителем потока, 5 – осевой сердечник, 6 – подшипники, 7 – входной штуцер сжатого воздуха, 8 – штуцер “горячего” воздуха, 9 – штуцер “холодного” воздуха, 10 – диск, 11 – обойма, 12 – соединительная втулка, 13 – регулировочные шпильки.

ные из калиброванных (с гладкой поверхностью) прутков малоуглеродистой стали. В этом случае воздушный поток (вихрь) вращался в зазоре между сердечником и внутренней поверхностью камеры расширения вихревой трубы.

В. Результаты экспериментальных исследований

Эксперименты, проведенные с осевым сердечником диаметром 6 мм показали, что при давлении воздуха 1 кгс/см², подаваемого на вход вихревой трубы (ВТ), наблюдается неустойчивое (рывками) вынужденное вращение осевого сердечника в направлении противоположном вращению воздушного вихря, задаваемого улиточным входом (рис. 3).

При увеличении давления воздуха $P_{вх}$ на входе вихревой трубы скорость вращения осевого сердечника, в направлении противоположном вращению газового потока (вихря), возрастала, достигая 6000...9000 об/мин

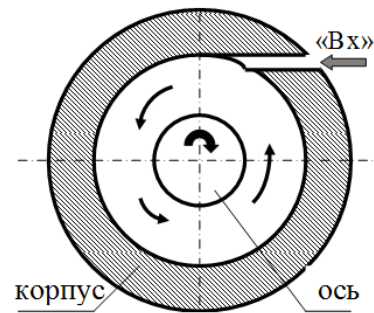


Рис. 3. Направление вращения воздушного вихря и вынужденного вращения металлической оси в вихревой трубе.

при $P_{вх} = 6$ кгс/см². Осредненные (по результатам многократного повторения опытов) значения скорости вынужденного вращения металлического сердечника диаметром 6 мм представлены на рис. 4.



Рис. 4. Зависимость скорости вынужденного вращения осевого сердечника (\varnothing 6 мм) от давления на входе вихревой трубы.

При установке сердечников диаметром 5 мм и 4 мм частота вращения была ниже – максимальная скорость вращения достигала, соответственно, 4000 и 3000 об/мин, а неустойчивое вращение начиналось только при давлении воздуха 1,2...1,5 кгс/см².

Используемая конструкция вихревой трубы с улиточным входом позволяла задавать как правовинтовое, так и левовинтовое вращение вихря (за счет переворачивания или смены “улитки”). Проведенные эксперименты показали, что в обоих случаях вынужденное вращение осевого металлического стержня происходит в направлении противоположном вращению воздушного вихря.

Эффект вращения металлической оси, установленной в вихревой трубе, в направлении противоположном вращению воздушного вихря впервые был отмечен в работе В.Е. Финько [4], но объяснения этому явлению дано не было.

Скорость воздушного потока в осевой и периферийной части вихря вихревой трубы изменяется по разным законам, но направление тангенциальной составляющей скорости вращения вихря не меняется [5], [6]. В осевой зоне тангенциальная составляющая скорости вихря приближается к нулю.

В проведенных экспериментах, если в процессе работы вихревой трубы прекрывался осевой “холод-

ный” выход воздуха (штуцер 9, рис. 2,б), то частота вращения осевого сердечника не изменялась. Это свидетельствует о том, что осевой противоточный вихрь не оказывает существенного воздействия на процесс возникновения вынужденного вращения осевого сердечника.

Если перекрывался периферийный “горячий” выход (штуцер 8, рис. 2,б), то частота вращения осевого сердечника снижалась: до 50 % при давлении на входе вихревой трубы 2,5...3 кгс/см²; на 10...20 % при $P_{вх} = 5...6$ кгс/см². Это можно объяснить уменьшением длины зоны взаимодействия вихря с осевым сердечником. При этом направление вращения сердечника в обоих случаях не изменялось – было противоположным вращению вихря.

Проведенные эксперименты показали также, что при вынужденном вращении сердечников возникали весьма большие силы и моменты, приводящие к прецессии оси сердечника и сильному его изгибу в процессе вращения. Это приводило к контакту свободного конца сердечника с внутренней поверхностью камеры расширения вихревой трубы.

В экспериментах с металлическим сердечником диаметром 4 мм, боковой зазор между сердечником и поверхностью камеры расширения ВТ составлял 3 мм, что исключало механический контакт сердечника с поверхностью камеры расширения при его упругом изгибе. Однако, как показали эксперименты, металлический консольно закрепленный на двух шарикоподшипниках сердечник в течение нескольких минут при его вынужденном вращении “затачивается” на конус за счет трения о внутреннюю поверхность камеры расширения вихревой трубы (рис. 5, а).



(а)



(б)

Рис. 5. Механическое изнашивание свободного конца осевого сердечника: а) затачивание конца сердечника \varnothing 4 мм, 1) исходный образец, 2) конец сердечника после вынужденного вращения; б) блестящий пояска на сердечниках \varnothing 5 мм и \varnothing 6 мм.

Длина полученного конического участка составляла

около 15 мм, при длине консольной части сердечника 87 мм. В результате, диаметр сердечника на его конце был равен 3,3 мм, при исходном диаметре 4,0 мм. При использовании осевых сердечников диаметром 5 мм и 6 мм касание концом сердечника поверхности камеры расширения приводило к образованию блестящего пояска на его конце – длиной 12...13 мм (рис. 5,б). Зафиксированный характер износа концевой части осевого сердечника возможен только за счет касания стенок камеры при S-образном изгибе сердечников в процессе его вынужденного вращения вокруг своей оси и прецессионного вращения самой оси.

При этом во всех случаях остаточной деформации (искривления) оси сердечников не наблюдалось – ось сердечников после остановки вращения оставалась прямолинейной. Это свидетельствует о том, что в процессе вынужденного вращения сердечника имел место динамический изгиб, не связанный с пластической деформацией материала, и обусловленный действием массодинамических сил.

При обсуждении наблюдавшегося эффекта К.Н. Вишератыным была высказана идея, что вращение сердечника в направлении, противоположном вращению вихря, обусловлено его касанием стенки камеры расширения вихревой трубы и его последующим качением по той поверхности, вследствие собственного вращения вокруг оси, совпадающего с направлением вращения вихря.

Как показали эксперименты, направление вынужденного вращения осевого сердечника зависит от длины его консольной части и давления на входе в вихревое устройство.

Установлено, что для каждой величины длины консольной части осевого сердечника (его жесткости) имеется некая “критическая” величина давления на входе в вихревое устройство. При таком давлении имеет место неустойчивое вращение сердечника – небольшие повороты в обе стороны. Если давление ниже этой величины, то наблюдается вращение осевого сердечника в сторону вращения вихря. При давлении выше критического возникает вращение сердечника в направлении, противоположном вращению вихря.

Например, у использовавшегося вихревого устройства для сердечника диаметром 4 мм при длине консольной части сердечника $L = 70$ мм величина “критического” давления была равна $P_{кр} = 3,5$ кгс/см². При давлении меньше $P_{кр}$ происходило медленное вращение сердечника по направлению вихря. При $P_{вх} = 4$ кгс/см² наблюдалось вращение сердечника в направлении противоположном вращению вихря (противовращение) со скоростью 150...200 об/мин. После извлечения сердечника на его концевой части наблюдался блестящий пояска длиной около 2 мм. В тоже время, при $L = 60$ мм и $P_{вх} = 4$ кгс/см² было неустойчивое (рывками) вращение сердечника в сторону вращения вихря со скоростью до 90...120 об/мин, а при $P_{вх} = 4,5$ кгс/см² было такое же неустойчивое противовращение. После извлечения сердечника, на его конце наблюдал-

ся блестящий поясик длиной около 1 мм. При $L = 55$ мм вплоть до максимального давления $P_{\text{вх}} = 6$ кгс/см² наблюдалось вращение только в направлении вращения вихря. Скорость вращения сердечника при максимальном давлении составляла около 1000 об/мин. Блестящего пояса на конце сердечника не было.

Это является экспериментальным подтверждением того, что вращение осевого сердечника в направлении противоположном вращению вихря вызвано его механическим контактом с поверхностью камеры расширения вихревой трубы. При отсутствии касания сердечник вращается в направлении вращения вихря.

При этом, процесс противовращения не является простым качением сердечника по поверхности камеры. Имеет место качение с проскальзыванием, которое вызывает описанный выше процесс механического износа (затачивания на конус) свободного конца сердечника, с блестящей поверхностью. При простом качении даже при больших контактных давлениях такого износа не будет – будет или пластическое выдавливание материала из зоны контакта (у пластичного материала, каким является использовавшаяся малоуглеродистая сталь сердечника) или усталостное изнашивание с матовой поверхностью при очень длительном процессе (у хрупкого материала). В нашем случае имеет место простое механическое истирание поверхностного слоя за счет трения поверхностей с поворотом сердечника вокруг оси.

Наблюдаемое качение сердечника с проскальзыванием является здесь следствием сложения двух процессов вращения:

- вынужденного вращения сердечника вокруг оси, с достаточно большим крутящим моментом;
- вынужденного прецессионного вращения оси сердечника вокруг оси камеры с его динамическим изгибом.

Явления, подобные прецессии оси осевого сердечника – пульсации потока (типа прецессии) в вихревых трубах экспериментально зафиксированы [7]. Прецессия ядра вихря и прецессия оси сердечника в вихревой трубе, очевидно, имеют одинаковую физическую природу. Они обусловлены действием массодинамических сил и моментов, возникающих при нестационарном вращении массы (твердой, газообразной или жидкой).

Изгиб и прецессионное вращение сердечника возникают вследствие неоднородности массодинамического поля вихря в вихревой трубе. Это, вместе люфтом в подшипниках, приводит к начальным колебаниям сердечника и смещению его оси относительно оси камеры расширения вихревой трубы. В результате изменяется боковой зазор между отдельными участками поверхности сердечника и камеры, что приводит и изменению скоростей обтекания сердечника воздухом на различных участках контура его поперечного сечения. Это приводит к возникновению аэродинамической силы, которая увеличивает отклонение (искривление) оси сердечника от оси камеры – вследствие эффекта Бернулли в случае заторможенного сердечника (при уменьшении

сечения потока, из-за возрастания скорости, то есть динамического давления, статическое давление падает), и, дополнительно, эффекта Магнуса – при вращении сердечника.

При приближении конца сердечника к стенке камеры возникает дополнительная массодинамическая сила притяжения. Это обусловлено тем, что направление векторов индукции наведенного вихрем массодинамического поля в сердечнике и стенке камеры противоположное. Аналогично случаю магнитного поля, это приводит к появлению силы притяжения. Все это приводит к плотному контакту конца сердечника с поверхностью камеры и его S-образному изгибу.

В результате появившегося эксцентриситета, из-за скоростного напора воздушного потока, возникает сила, вращающая сердечник вокруг оси камеры, т.е. прецессия оси сердечника по направлению вращения вихря. Следствием это является качение сердечника по поверхности камеры, т.е. возникновение вращения сердечника в направлении, противоположном вихрю и износ его концевой участка из-за проскальзывания, вызванного вращением сердечника вокруг оси.

Возникающие в процессе вынужденного вращения и прецессии оси сердечника массодинамические силы и изгибающие моменты неоднократно приводили к поломке сердечников диаметром 5 мм и 6 мм без искривления их оси (рис.6).

Излом сердечника происходил по кольцу первого подшипника, в зоне перехода к посадочному пояску диаметром 4 мм, не смотря на предварительную обработку зоны перехода для удаления концентраторов напряжений. Характер поверхности излома сердечников представлен на рис. 7.



Рис. 7. Вид поверхности излома осевых сердечников диаметром 5 мм и 6 мм.

Излом сердечников имеет вид характерный для малоциклового усталости при изгибе с кручением – многочисленные очаги начального разрушения в тонком поверхностном слое и зона долома в центральной части, с зернистой поверхностью. Это дополнительно подтверждает, что сердечник претерпевал сильный циклический изгиб в процессе вынужденного вращения, при больших напряжениях в материале.

Во второй серии экспериментов, при подаче воздуха на вход вихревой трубы осевой сердечник был изначально заторможен. Измерялись температуры “холодного” и “горячего” выхода в заторможенном режиме: $t_{\text{хт}}$



Рис. 6. Осевые сердечники диаметром 5 мм и 6 мм после поломки.

и $t_{гг}$. Затем сердечник растормаживался и измерялись новые значения температуры “холодного” и “горячего” выхода в режиме свободного вынужденного вращения: $t_{хс}$ и $t_{гс}$ (рис. 8).

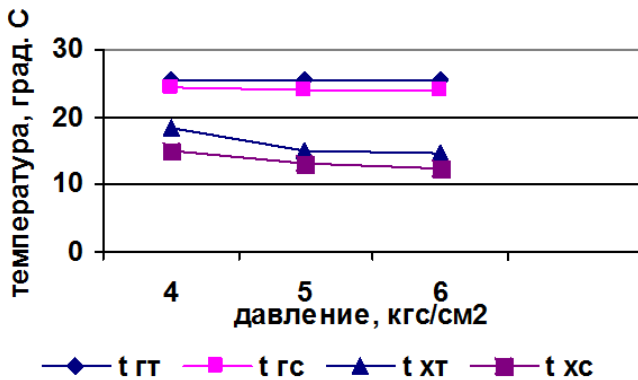


Рис. 8. Зависимость температуры входящего воздуха от давления на входе вихревой трубы.

Установлено, что переход к вынужденному вращению осевого сердечника приводит к существенному снижению температуры “холодного” выхода и, незначительному снижению температуры “горячего” выхода. Снижение температуры выходящего воздуха может свидетельствовать о том, что энергия воздушного вихря расходуется на вращение металлического сердечника.

При заторможенном сердечнике, одновременно с возбуждением сильной вибрации сердечника, т.е. с возникновением прецессии его оси без вращения самого сердечника, возникал низкочастотный гул с частотой порядка 2 кГц. Такой же низкочастотный гул наблюдался при возбуждении свободного вынужденного вращения сердечника, с момента начала неустойчивого вращения сердечника, и возникновения его вибрации.

С. Механизм возбуждения вращения сердечника в вихревой трубе

В основе гипотезы о механизме возбуждения вращения осевого сердечника в ВТ положена аналогия физических полей возбуждаемых магнитными и механическими спинами атомов при вращении тела:

1) при вращении динамически несбалансированного твердого тела или нестационарном вращении газа или

жидкости возникает массодинамическое поле, аналогично возникновению магнитного поля при вращении ферромагнетика (эффект Барнетта).

2) При помещении тела (массы) в переменное массодинамическое поле возникает эффект аналогичный эффекту Эйнштейна - де Хааза – массодинамическое “намагничивание” вызывает вращение всего тела.

В проведенных экспериментах металлический осевой сердечник имел гладкую поверхность, поэтому сила трения кольцевого потока воздуха на поверхности сердечника минимальна и не может создать большой крутящий момент, который зафиксирован в экспериментах. Наибольший вклад в возбуждение вращения сердечника создают массодинамические силы [2], [3].

Переменное массодинамическое поле вихря проникает в материал сердечника на глубину скин-слоя. В соответствии с законами индукции, направление векторов индукции массодинамического поля, наведенного в материале сердечника, обусловленного прецессией механических моментов атомов, будет противоположно направлению векторов индукции внешнего массодинамического поля вихря. Под действием этого поля механические спины атомов материала сердечника начинают прецессию вокруг линий индукции массодинамического поля вихря. В результате возникает суммарный механический момент прецессии атомов, противоположный вектору количества вращения вихря. Изменение механических моментов атомов материала осевого сердечника приводит к тому, что кристаллическая решетка получает обратный механический момент, т.е. возбуждается вращение стержня в направлении, противоположном направлению прецессионного вращения механических моментов атомов, т.е. в направлении вращения вихря (рис. 9).

Поэтому при свободном вращении сердечник получает механическое вращение в направлении, совпадающем с вращением вихря, что зафиксировано в проведенных экспериментах, при отсутствии контакта конца сердечника с поверхностью камеры расширения.

При снятой обойме (11) (рис. 2) в вышеописанных экспериментах с укороченным осевым сердечником зафиксировано возникновение больших сил выталкивания сердечника вместе с подшипниками из вихревой трубы. Для фиксации подшипников в посадочном гнезде крышки (4) использовалась стальная пластина толщиной 0,25 мм и шириной 15 мм (видна на рис. 2,а;

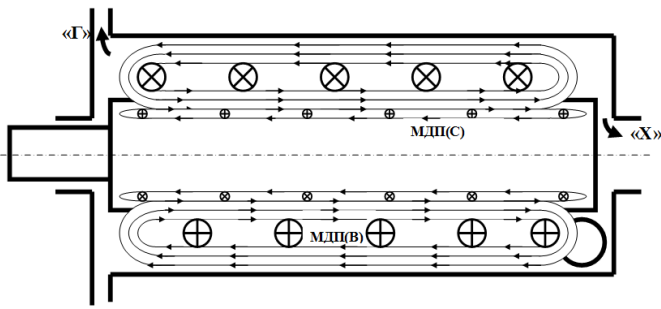


Рис. 9. Схема массодинамических полей вихря “МДП(В)” и вращающегося металлического сердечника “МДП(С)”.

на рис 2,б не показана), с центральным отверстием для выхода конца осевого сердечника (5). Пластина прижимает наружное кольцо подшипника (6) к крышке (4).

При наибольшей длине консольной части осевого сердечника (87 мм) сила выталкивания была незначительной. С уменьшением длины консольной части до 55 мм стальная пластина в процессе работы устройства сильно выгибалась (без выхода крайнего подшипника из гнезда) и возврат подшипников до упора в крышке (4) здесь требовал приложения к пластине большого усилия.

Этот эффект возникает вследствие того, что суммарный наведенный механический момент прецессии атомов материала сердечника противоположен вектору количества вращения вихря. Противоположно направленные механические спины атомов отталкиваются. В рассматриваемом вихревом устройстве векторы механических моментов прецессии атомов материала сердечника и воздушного вихря параллельны по всей длине, кроме концевых участков. Поэтому, когда осевой сердечник, длиной 87 мм, занимает всю длину камеры расширения (рис. 9), то система симметрична и осевая сила практически не возникает. При укороченном осевом сердечнике симметрия системы нарушается. Со стороны свободного конца сердечника появляется не скомпенсированная массодинамическая сила, выталкивающая осевой сердечник, что зафиксировано в эксперименте.

D. Торнадо

Изложенные выше результаты экспериментов с модифицированной вихревой трубой – возникновение больших сил, крутящего и изгибающего моментов, позволяют предположить, что массодинамическое взаимодействие лежит в основе возникновения вихря торнадо и его силового воздействия на объекты.

Массодинамические силы, помимо непосредственно ветрового напора, являются причиной больших механических разрушений, которые создают торнадо. Массодинамическое взаимодействие, возникающее внутри “хобота” торнадо, является причиной сильного закручивания и изгиба объектов в “хоботе” (как сердечника в вихревой трубе), которое не может возникнуть

вследствие простого высокоскоростного напора потока воздуха.

Массодинамические силы, создаваемые массодинамическим полем торнадо, вызывают подъем тяжелых объектов, который не может быть вызван разностью давлений воздуха в хоботе торнадо и в окружающей среде. Это эффект аналогично тому, как массодинамическое поле вращающегося динамически несбалансированного диска отталкивает экран с силой превышающей вес диска [2], [3].

IV. АНАЛОГИЯ ПЕРЕМЕННОГО МАГНИТНОГО И МАССОДИНАМИЧЕСКОГО ПОЛЯ

Переменное магнитное поле, индуцированное переменным электрическим током, протекающим по катушке, проникает в электропроводный материал, помещенный в катушку, на глубину скин-слоя и наводит в нем вихревой ток. Направление вихревого тока в материале противоположно направлению тока в катушке.

Аналогично, переменное массодинамическое поле, индуцированное вращающейся динамически несбалансированной массой (диском) или не стационарно вращающимся газовым потоком (вихрем), также проникает в материал (диск, экран, осевой сердечник) на глубину скин-слоя. Согласно законам индукции (по аналогии с магнитной индукцией), направление векторов индукции массодинамического поля наведенного в материале, обусловленного прецессией механических моментов атомов, будет противоположно направлению векторов индукции внешнего массодинамического поля. Это приводит к появлению сил массодинамического отталкивания, подобных электродинамическим силам, которые зафиксированы в экспериментах с экранами и вращающимся динамически несбалансированным диском [2], [3].

Вектор количества вращения всей массы, обусловленный массодинамическим взаимодействием, будет направлен по линиям индукции внешнего массодинамического поля. Следовательно, направление вынужденного вращения всей массы (диска, сердечника) будет определяться направлением вектора индукции внешнего массодинамического поля, входящего в массу.

В опытах с вращающимся динамически несбалансированным диском и расположенным над ним экраном [2], [3], направление вектора прецессии механических спинов атомов (материала экрана) противоположно вектору момента количества вращения диска. Поэтому экран получает вращение в сторону вращения диска.

Эта гипотеза также находит экспериментальное подтверждение в ранее проведенных опытах с крутильными маятниками [8], [9]. Легкий картонный диск, подвешенный на бифилярно скрученных нитях, располагался различным образом относительно плоскости вращающегося динамически несбалансированного диска. Для исключения влияния газодинамических процессов, эксперименты проводились в вакуумной камере. Наблюдалась смена направления вращения и величина

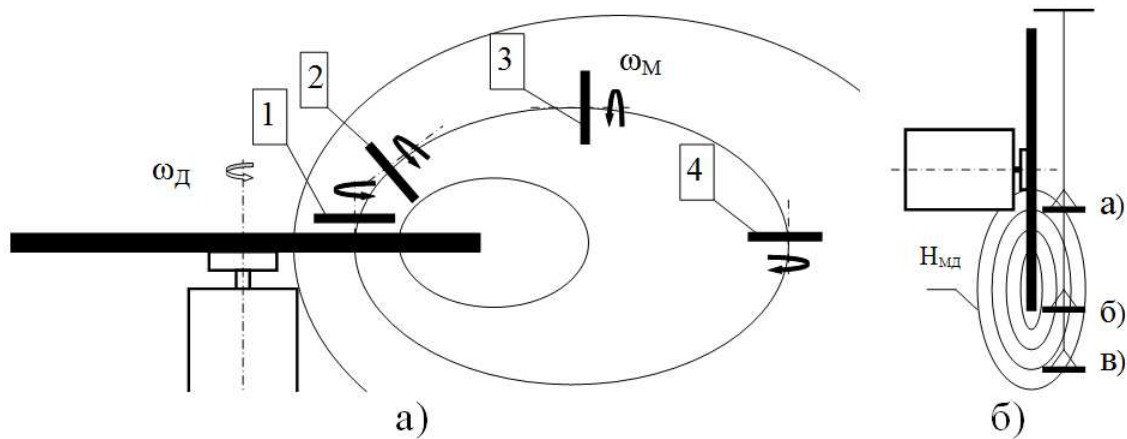


Рис. 10. Вращение крутильного маятника относительно линии индукции массодинамического поля вращающегося динамически несбалансированного диска.

закрутки крутильного маятника при переходе его из площади диска за его границы (рис. 10).

Если рассматривать вращение крутильного маятника при перемещении его оси вращения вдоль линий индукции массодинамического поля вращающегося динамически несбалансированного диска от положения “1” до “4” (рис. 10,а), то само направление закрутки крутильного маятника относительно касательной к линии индукции не изменяется. Изменяется только направление закрутки маятника ω_M относительно направления вращения ведущего диска ω_D .

Вращение маятника обусловлено воздействием массодинамического поля вращающегося диска, линии индукции которого пересекают плоскость диска крутильного маятника. Максимальная плотность силовых линий, пересекающих площадь диска крутильного маятника (рис. 10,б), имеет место при подвеске маятника вблизи торца ведущего диска “б”, что вызывало наибольшую его закрутку. При перемещении маятника ближе к оси ведущего диска “а” уменьшается напряженность массодинамического поля, что приводило к уменьшению величины закрутки маятника до нуля. При выходе маятника за пределы контура ведущего диска “в”, величина закрутки резко снижалась, т.к. уменьшалась плотность силовых линий массодинамического поля, входящих в диск маятника, и уменьшается нормальная к плоскости диска крутильного маятника составляющая вектора его индукции.

Направление закрутки маятника, в этой схеме, определялось направлением вектора индукции массодинамического поля по отношению к плоскости диска маятника, т.е. зависело от направления вращения диска, аналогично тому, что зафиксировано в экспериментах, где плоскость крутильного маятника была параллельна плоскости вращающегося диска.

V. МЕХАНИЗМ ВОЗНИКНОВЕНИЯ МАССОДИНАМИЧЕСКОГО СИЛОВОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ

В экспериментах с крутильными маятниками было установлено, что в процессе разгона диска электродвигателем можно выделить три этапа закрутки маятника [9]:

- 1) начальный этап разгона диска – происходит быстрая закрутка маятника;
- 2) промежуточный этап разгона диска – наблюдается уменьшение величины закрутки маятника, полученной на первом этапе (обратное вращение);
- 3) завершение разгона диска – наблюдается увеличение закрутки маятника до максимальной величины и ее стабилизация.

При последующем резком торможении диска (отключение питания электродвигателя и включение его тормоза) происходит кратковременная дополнительная закрутка маятника, по сравнению с закруткой, полученной на третьем этапе.

Величина закрутки маятника на первом этапе (в момент начального резкого разгона диска) наблюдалась в пределах 0,5...1,0 от максимальной (окончательной) величины его закрутки на третьем этапе. При этом величина первоначальной закрутки маятника, на этом этапе, сильно зависела от ускорения при разгоне ведущего диска. При малом ускорении разгона (ступенчатое или постепенное повышение напряжения питания электродвигателя) величина закрутки маятника на первом этапе была меньше, чем при резком разгоне диска.

Откат (обратное вращение) на втором этапе составлял 0,1...0,5 от величины закрутки на первом этапе. Величина обратного вращения была тем больше, чем выше была скорость разгона (угловое ускорение) на первом этапе.

На первом этапе, угловая скорость вращения диска еще относительно невелика, но при этом угловое ускорение (на начальном этапе раскрутки электродвигателя) имеет максимальную величину. На втором этапе,

величина углового ускорения уменьшается, а угловая скорость еще невелика. На третьем этапе, угловое ускорение стремится к нулю, а угловая скорость вращения диска достигает максимальной величины.

Исходя из этих экспериментально полученных результатов, можно констатировать, что на крутильный маятник действовали два фактора.

1) Массодинамическое силовое воздействие, связанное с угловым ускорением ведущего диска, которое возникает на этапах разгона и торможения.

У любого не вращающегося тела суммарный механический момент атомов равен нулю. Поэтому постоянное массодинамическое поле (равномерное вращение сбалансированной массы) не окажет никакого силового воздействия на внесенное в него другое неподвижное тело (экран, маятник), не имеющее спиновой поляризации, т.к. не изменяет механические моменты его атомов. Это аналогично тому, как постоянное магнитное поле не оказывает силового воздействия на немагнитные вещества – не вызывает их магнитной поляризации.

Силовое воздействие на другое тело, внесенное в такое поле, возникает только в момент разгона или торможения вращающейся массы (диска). Здесь, вследствие наличия ускорения, имеет место изменение величины напряженности массодинамического поля (переменное массодинамическое поле – изменение модуля вектора индукции). Это вызывает изменение механических моментов атомов объекта воздействия (диск, экран, маятник). Величина силового воздействия, в этом случае, пропорциональна величине углового ускорения вращающейся массы (диска), генерирующего массодинамическое поле.

Большое угловое ускорение возбуждает, кроме интенсивной прецессии механических спинов атомов, нутацию механических моментов атомов. Это аналогично тому, как удар по оси гироскопа вызывает прецессию и нутацию. Возникает массодинамическое поле с индукцией выше, чем в случае прецессии механических моментов атомов с частотой вращения диска. Все это создает, описанный выше, эффект большой закрутки крутильного маятника на первом этапе раскрутки электродвигателя.

Косвенным подтверждением этого может служить эффект Эйнштейна - де Хааза. Добиваясь заметного проявления эффекта, в этом случае пропускали по обмотке соленоида переменный ток (прямоугольные импульсы), что создавало прецессию и нутацию магнитных моментов. Это, в свою очередь, вызывало прецессию и нутацию механических моментов атомов и создавало большую закрутку образца.

Этот фактор действует только на этапах раскрутки диска и его торможения, как в случае сбалансированного, так и динамически несбалансированного диска. Затем вызванная этим прецессия и нутация механических моментов атомов затухает, аналогично затуханию прецессии и нутации гироскопа после прекращения внешнего силового воздействия.

2) Массодинамическое силовое воздействие, обусловленное угловой скоростью вращения динамически несбалансированного (прецессирующего) диска.

При вращении динамически несбалансированного диска (перекос оси – моментный дисбаланс), происходит коническое вращение оси диска относительно оси ротора. В этом случае, произвольная точка “А” (рис. 11) совершает круговое вращение от точки “А1” до точки “А2” с радиусом r относительно оси ротора.

При этом, механический момент атомов M в точке “А” совершает прецессионное вращение относительно вектора y (нормального к плоскости диска), связанного с кристаллической решеткой материала (или другими соседними атомами). Это возбуждает в материале диска и, как следствие, в окружающем пространстве переменное массодинамическое поле, вектор индукции которого ВМД прецессионно вращается относительно оси ротора с угловой скоростью $\omega_{\text{П}}$.

Вектор индукции внешнего переменного массодинамического поля вблизи пробного тела (массы “G”, рис. 11) меняет свое направление с частотой прецессии, а модуль изменяется пропорционально изменению расстояния до диска от L до $L+\Delta L$.

Переменное массодинамическое поле воздействует на механические моменты атомов материала пробного тела подобно тому, как в эффекте Эйнштейна – де Хааза переменное магнитное поле воздействует на магнитные моменты ферромагнетика. Массодинамическое “намагничивание” пробного тела (возникновение собственного массодинамического поля) сопровождается появлением суммарного механического момента прецессии атомов, направленного вдоль оси вращения ротора динамически несбалансированного (ведущего) диска. Изменения механических моментов происходят за счет внутренних сил, а поскольку система замкнута (т.е. полный момент пробного тела сохраняется), то в этом случае его кристаллическая решетка получает обратный механический момент, пропорциональный приобретенной массодинамической “намагниченности”. Так возникает вынужденное вращение дисков и экранов, расположенных рядом с ведущим, динамически несбалансированным вращающимся диском [2], [3].

В соответствие с законами индукции, направление вектора индукции массодинамического поля, вызванного прецессией механических спинов материала пробного тела, противоположно внешнему массодинамическому полю вращающегося динамически несбалансированного диска. Следствием этого является отталкивание экранов от ведущего, динамически несбалансированного вращающегося диска [2], [3].

Этот фактор действует в течение всего времени вращения динамически несбалансированного диска.

Эффект от поляризации механических моментов атомов (материала маятника, экрана и т.п.) постоянной составляющей массодинамического поля диска, – при установившемся вращении хорошо сбалансированного диска, в проведенных опытах не зафиксирован (в пределах точности экспериментов).

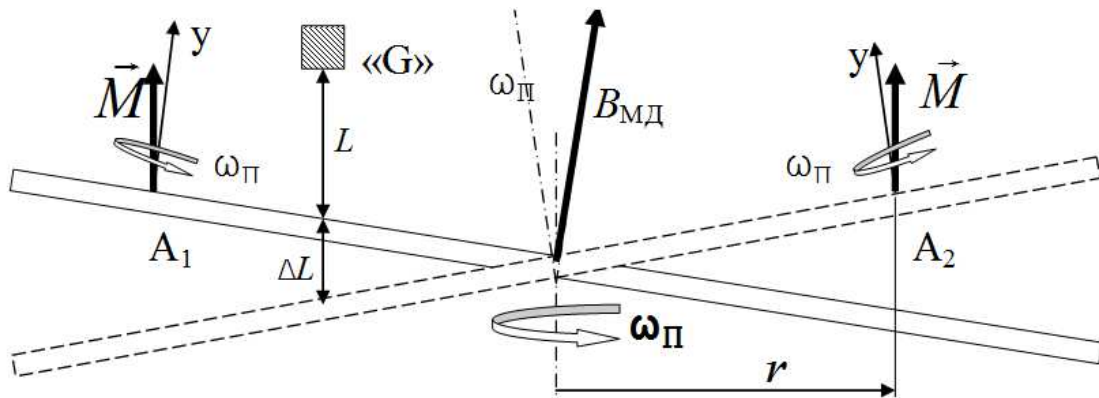


Рис. 11. Схема возникновения прецессии механических моментов атомов.

VI. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Переменное массодинамическое поле возникает при нестационарном вращении массы, вследствие прецессии и нутации механических моментов ее атомов.

В основе силовых эффектов массодинамического взаимодействия лежит возбуждение прецессии механических спинов атомов материала (дисков, экранов и т.п.) относительно линий индукции внешнего переменного массодинамического поля.

В вихревой трубе имеет место спиральное движение газового потока и возникновение турбулентности, что также приводит к прецессии векторов механических спинов атомов газа. Это возбуждает переменное массодинамическое поле вихря, и приводит к возникновению вышеописанных силовых эффектов массодинамического взаимодействия в вихревой трубе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] *Физический энциклопедический словарь. Главный редактор А.М. Прохоров.* Советская энциклопедия, М., 1983.
- [2] Самохвалов В.Н. Неэлектромагнитное силовое взаимодействие при вращении масс в вакууме. *Журнал Формирующихся Направлений Науки*, 1(1):6–19, 2013.
- [3] Самохвалов В.Н. Бесконтактная передача вращения и оттачивание масс в вакууме. *Вестник Самарского государственного университета путей сообщения*, 2(2 (28)):164–171, 2015.
- [4] Финько В.Е. Особенности охлаждения и сжижения газа в вихревом потоке. *Журнал технической физики*, 53(9):1770–1776, 1983.
- [5] Меркулов А.П. *Вихревой эффект и его применение в технике.* Оптима, Самара, 1997. 355 с.
- [6] Гуцол А.Ф. Эффект Ранка. *УФН*, 167(6):665–687, 1997.
- [7] Ахметов Ю.М., Зангиров Э.И., Свистунов А.В. Возможный механизм течения вихревых закрученных потоков. *Труды МФТИ*, 6(2 (22)):99–104, 2014.
- [8] Самохвалов В.Н. Квадрупольное излучение вращающихся масс. *Доклады независимых авторов*, (14):112–145, 2010.
- [9] Самохвалов В.Н. Пондеромоторные эффекты в вакууме. *Доклады независимых авторов*, (14):146–159, 2010.