

## Экспериментальное исследование взаимодействия вращающихся динамически несбалансированных тонких дисков

Самохвалов В.Н.

Самарский государственный университет путей сообщений,  
samohvalov\_vn@mail.ru

Приведены результаты экспериментальных исследований неэлектромагнитного взаимодействия в вакууме близко расположенных, механически не связанных, вращающихся дисков. Установлено, что при высоких угловых скоростях возникают силы взаимодействия между дисками, вызывающие прецессию и упругое деформирование (винтовую закрутку) поверхностей дисков в процессе их совместного вращения. При этом происходит передача энергии от вращающегося диска первоначально неподвижному диску, приводящая к его вращению, а также взаимное торможение и нагрев дисков при их одновременном вращении.

### Экспериментальное оборудование

Для исследований использовалось устройство (Рис. 1), состоящее из двух электродвигателей постоянного тока Д-14ФТ2с 1 и 2, имеющих электромагнитные тормоза, закрепленных на стальных плитах 3 и 4 толщиной 18 мм. К роторам электродвигателей прикреплялись два диска 5 и 6 диаметром 165 мм из не ферромагнитных материалов (Рис. 1а).

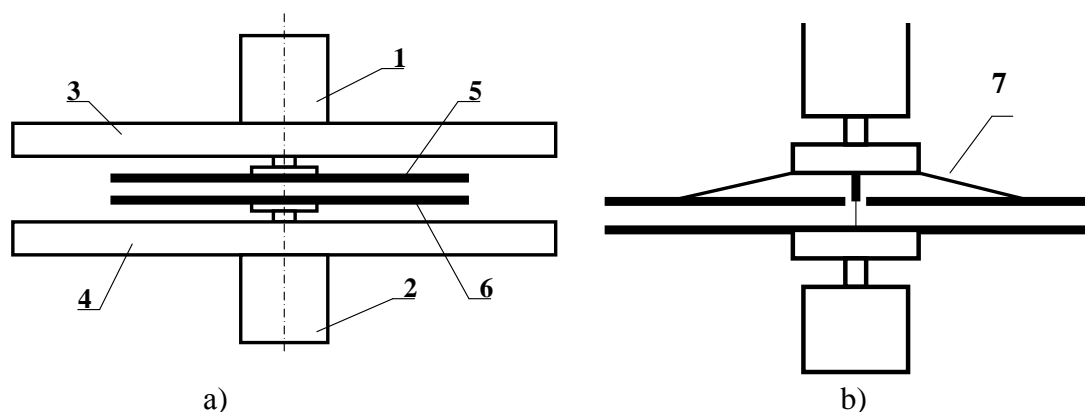


Рис. 1. Принципиальная схема устройства для исследования динамических эффектов: а) жесткое крепление дисков, б) верхний диск подвешен на нитях

В экспериментах было три варианта сочетаний материалов дисков: 1) «металл - металл» - оба диска из алюминиевого сплава АМг3М; 2) «диэлектрик - диэлектрик» - оба диска из плотного картона толщиной 2,5 мм; 3) «диэлектрик - металл» - нижний диск из картона (2,5 мм) или из плотной бумаги (0,25 мм), а верхний из алюминиевого сплава АМг3М толщиной 0,9 мм. Кроме того, в последней серии экспериментов, верхний диск с центральным отверстием подвешивался в ротору электродвигателя на шести прочных синтетических нитях 7 (Рис. 1б), и имел возможность осевого перемещения по жесткой оси.

Электродвигатели подключались к источникам питания постоянного тока В5-48, расположенным вне камеры, позволявшим поддерживать заданное стабильное напряжение. Для включения и отключения электромагнитных тормозов электродвигателей использовались отдельные источники питания.

Расстояние между дисками задавалось за счет параллельного перемещения плит крепления электродвигателей по четырем стальным колонкам, с их последующей жесткой фиксацией. Расстояние от дисков до плит было не менее 20 мм. При этом в опытах задавались как преднамеренный перекося осей дисков относительно осей их электродвигателей (динамический дисбаланс), создающий при вращении дисков переменный квадрупольный момент, так и обеспечивалась максимально возможная параллельность дисков и их сбалансированность. Начальный зазор между дисками задавался от 1 до 6 мм. Была исключена возможность механического контакта дисков в начальный момент вращения, с учетом их динамической несбалансированности.

Устройство устанавливалось в вакуумной камере (Рис. 2) с внутренним диаметром 300 мм и толщиной стенки 15 мм и жестко фиксировалось. Воздух из камеры откачивался форвакуумным насосом до остаточного давления около 1 Па (вакуум  $10^{-4}$ ).

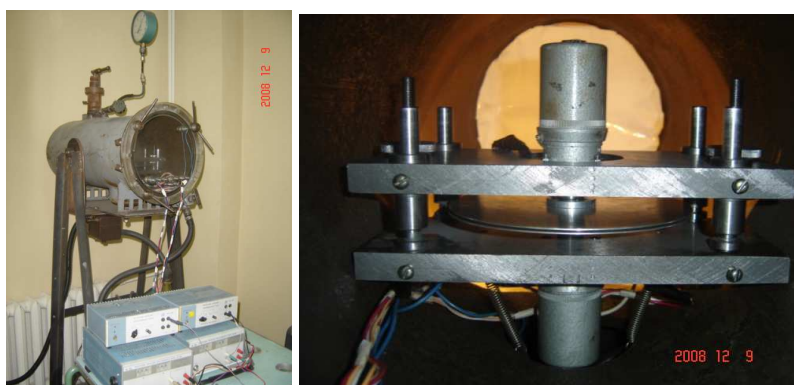


Рис. 2. Общий вид экспериментального оборудования и устройства для исследования динамических эффектов.

Производилась фото и видеосъемка процессов взаимодействия дисков в процессе их вращения. Некоторая размытость приведенных ниже фотографий обусловлена проведением фотосъемки через фланец на торце вакуумной камеры, выполненный из оргстекла толщиной 40 мм, и бликами на нем от вспышки цифрового фотоаппарата.

## Результаты экспериментальных исследований

Представленный ниже материал является обобщением большого числа проведенных экспериментов [1-6].

В первой серии экспериментов (схема - Рис. 1а) диски были преднамеренно разбалансированы - задан небольшой перекося осей дисков и осей роторов их электродвигателей. Это создавало, в начальный момент вращения, осевое биение по

торцам дисков порядка 0,5 - 1 мм. При максимальном разгоне биение значительно уменьшалось за счет действия центробежных сил, вследствие малой жесткости использовавшихся тонких дисков.

Установлено, что при начальном зазоре между дисками 1 - 3 мм и одновременной подаче напряжения 30 В на оба электродвигателя для вращения их в противоположные стороны (встречное вращение) сначала происходит их разгон до максимальной частоты вращения порядка 100 - 120 1/с. Затем периодически начинала возникать сильная вибрация одновременно обоих дисков (Рис. 3б). Частота колебаний дисков составляла порядка 10 - 20 1/с. В моменты возникновения вибрации скорость вращения дисков резко снижалась примерно в 2 раза (до 50 - 60 1/с).

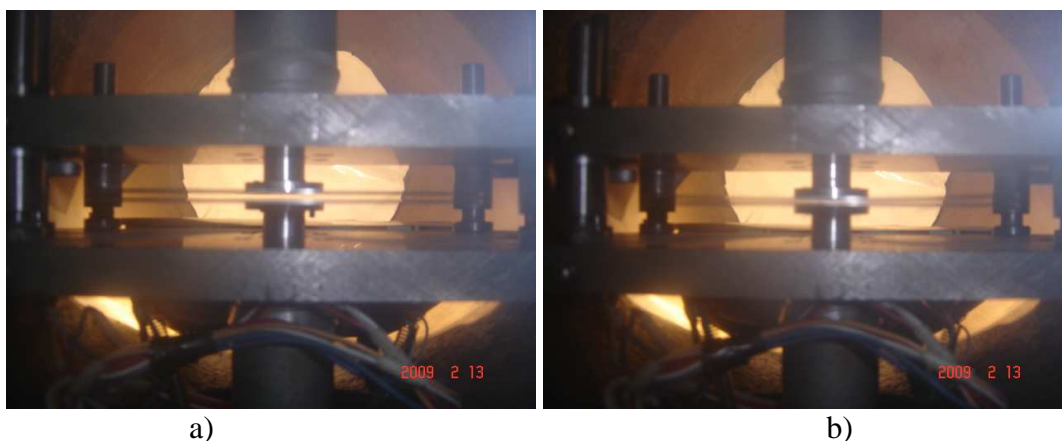


Рис. 3. Возбуждение высокоамплитудной вибрации дисков при одновременном, противоположном вращении в вакуумной камере:  
а) исходное положение дисков, б) вибрация при вращении

При этом наблюдалось достаточно большое искривление поверхностей дисков и их упругая деформация (Рис 4). Колебания одного диска являлись хаотическим относительно другого. Зазор между поверхностями дисков, в различных зонах, был переменным во времени. При этом механического контакта между дисками не возникало даже в случае первоначального зазора между дисками 1 мм. Диски как бы отталкивались друг от друга, что видно на фотографиях, и каждый из дисков продолжал вращение в свою сторону. При прекращении вибрации частота вращения дисков снова возрастала. Процесс повторялся с некоторой периодичностью.

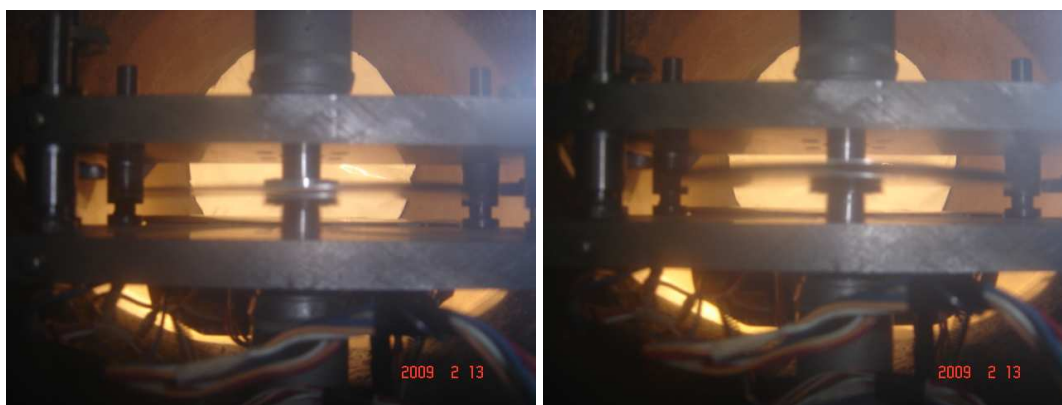


Рис. 4. Искривление поверхностей дисков в процессе высокоамплитудной вибрации.

В некоторые моменты времени хаотические колебания дисков переходили в относительно стабильную форму - винтовую закрутку дисков, вращающуюся с частотой порядка 1 - 3 1/s (Рис. 5).

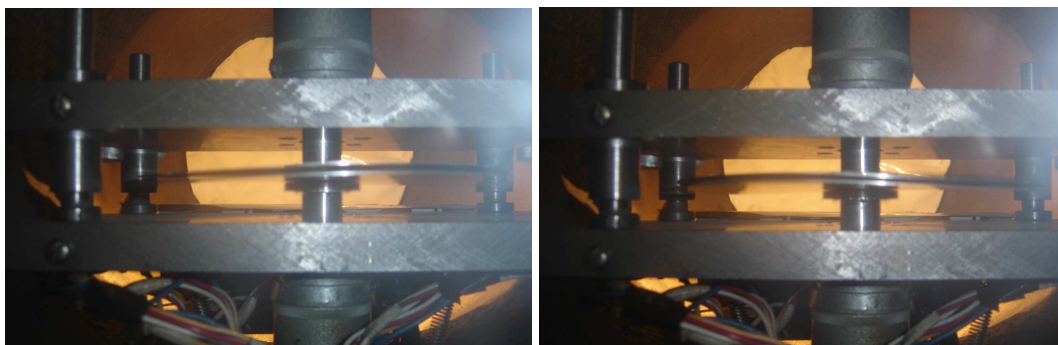


Рис. 5. Изгиб и закрутка поверхностей дисков в процессе одновременного встречного вращения в вакууме.

В этом случае возникало синхронное искажение плоскости обоих дисков. Как видно на полученных photographs и при замедленном просмотре видеосъемки процесса, поверхности деформированных дисков при этом остаются практически эквидистантными. То есть диски с винтообразной формой поверхностей, вращаясь в противоположные стороны с частотой порядка 90 - 100 1/s, обтекают друг друга, не вступая в механический контакт. Таким образом, волна механической, упругой деформации дисков движется по их поверхности с угловой скоростью того же порядка, что и угловая скорость вращения самих дисков. При этом вращение винтовой закрутки наблюдалось в сторону вращений диска, имеющего более высокую частоту вращения.

Значительный динамический дисбаланс дисков способствовал их интенсивной вибрации и вышеописанный эффект взаимодействия дисков: возбуждение вибрации, а затем возникновения изгибной волны наблюдались при зазорах между дисками до 3 mm. В экспериментах при тех же условиях, но при отсутствии вакуума (нормальном атмосферном давлении в камере) вышеописанные эффекты не проявлялись. Сильная вибрация дисков не возбуждалась, а изгибная волна не наблюдалась даже при начальном установленном зазоре между дисками менее 1 mm.

При этом, при отключении одного из электродвигателей (вращение в вакууме), и остановке его диска, второй электродвигатель раскручивался до максимальных оборотов порядка 180 - 200 1/s. При повторном включении первого электродвигателя частота вращения второго двигателя опять значительно снижалась. Частота вращения обоих дисков снова составляла около 90 - 100 1/s. Таким образом, при многократном повторении опытов, экспериментально установлено, что в процессе совместного встречного вращения в вакууме наблюдалось достаточно сильное бесконтактно взаимное торможение дисков.

Одновременно установлено, что при длительном (3 - 4 минуты) одновременном бесконтактно вращении и взаимодействии, диски нагреваются до температуры 60 - 70 °С. При более длительной непрерывной работе устройства (6 - 7 минут) -

температура нагрева дисков достигала 80 - 90°C. Замер температуры дисков производился через 1 - 2 минуты после остановки электродвигателей и вскрытия вакуумной камеры.

При одновременной подаче напряжения 30 V на оба электродвигателя для вращения их дисков в одну сторону (попутное вращение), после полной раскрутки наблюдалась только сильная вибрация обоих дисков и их взаимное торможение, при наличии разности скоростей вращения. Деформации в виде изгиба плоскости дисков не наблюдалось.

Частота вращения электродвигателей здесь была также значительно ниже максимальной. В процессе одновременного вращения в этом случае диски так же нагревались до температуры 50 - 60 °С. При отключении питания одного из электродвигателей, второй электродвигатель раскручивался до максимальных оборотов. При повторном включении электродвигателя все эффекты полностью повторялись.

При начальном зазоре между дисками 1,5 – 2 mm, если один электродвигатель был отключен и заторможен, то после подачи на второй электродвигатель напряжения 30 V и его полной раскрутки начиналась небольшая вибрация его диска, а затем периодически возбуждалась небольшая вибрация неподвижного диска. При этом, в моменты начала вибрации неподвижного диска наблюдалось небольшое снижение оборотов вращающегося диска. Однако даже после длительной работы устройства существенного нагрева дисков в этом случае не зафиксировано.

Таким образом, в результате многократного повторения экспериментов установлено, что нагрев дисков происходит только при их взаимодействии и одновременном вращении в вакууме. Нагрев дисков является следствием их бесконтактного взаимодействия и взаимного бесконтактного торможения.

Во второй серии экспериментов (схема – Рис 1а) напряжение питания подавалось только на один двигатель, а второй был отключен от питания, но расторможен.

Экспериментально установлено, что (в вакууме) если один (ведомый) электродвигатель был отключен, но расторможен, то после подачи на второй (ведущий) электродвигатель напряжения 30 V и его полной раскрутки начиналось вынужденное вращение первого диска вместе с ротором его электродвигателя. Выявлено, что эффект возбуждения вынужденного вращения и частота вынужденного вращения, при прочих равных условиях, зависят от степени динамического дисбаланса дисков.

Как показали эксперименты, при достаточно высокой степени динамической отбалансированности дисков и отсутствии их вибрации при максимальной раскрутке, вынужденное вращение ведомого диска при зазоре между дисками более 2 - 3 mm вообще не возбуждалось.

При зазоре между дисками 1,0 – 1,5 mm, при максимальной раскрутке ведущего диска, наблюдалось медленное проворачивание ведомого диска с частотой вращения

менее 0,05 1/s. Однако, при возникновении вибрации ведущего диска начиналось вращение ведомого диска с частотой вращения 5 - 10 1/s. Если вибрация ведущего диска возрастала, то частота вращения ведомого увеличивалась до 20 - 30 1/s.

В тоже время установлено, что при наличии уже относительно небольшой динамической несбалансированности дисков (начальное осевое биение 0,5 – 1,0 mm), вынужденное вращения дисков возбуждалось при зазоре между дисками до 3 mm. Частота вынужденного вращения, при прочих равных условиях, зависела от величины первоначального зазора между дисками, чем он был меньше, тем частота вращения выше. При зазоре между дисками 1,0 mm и напряжении питания ведущего электродвигателя 30 V, частота вынужденного вращения ведомого диска достигала 40 - 50 1/s при частоте вращения ведущего диска около 130 - 150 1/s.

При зазоре между дисками более 4 mm даже сильная вибрация дисков, в проведенных опытах, не приводила к возбуждению вынужденного вращения ведомого диска, при частоте вращения ведущего диска 100 - 120 1/s.

Таким образом, экспериментально установлено силовое воздействие в вакууме со стороны вращающегося с высокой угловой скоростью ведущего диска на механически не связанный с ним, первоначально неподвижный (ведомый) диск, вызывающее его вращение.

Величина создаваемого при этом крутящего момента достаточно велика, чтобы вращать отключенный электродвигатель вместе с ведомым диском. Противодействие этому крутящему моменту - для остановки вынужденного вращения диска, требовало подачи на связанный с ним ведомый электродвигатель напряжения равного 0,2 – 0,8 от напряжения на электродвигатель ведущего диска, в зависимости от зазора между дисками и степени их разбалансированности. При напряжении питания ведущего электродвигателя 30 V, для остановки вынужденного вращения ведомого электродвигателя при зазоре между дисками 1,5 mm требовалась подача на него напряжения для встречного вращения, составляющего 12 - 18 V, а при зазоре между дисками 3 mm от 5 до 11 V. При дальнейшем увеличении напряжения питания ведомого электродвигателя его диск начинал вращение в свою сторону (противоположно ведущему диску).

Эти же эксперименты были проведены без вакуума (при нормальном атмосферном давлении в камере). При том же напряжении питания электродвигателей скорость вращения ведущего диска была несколько ниже. При этом вибрация дисков не возбуждалась. Вынужденное вращение ведомого диска практически не возникало даже при зазоре между дисками менее 1 mm. При этом наблюдалось только медленное проворачивание ведомого диска с частотой вращения менее 0,1 – 0,3 1/s, т.е. на два порядка ниже, чем в случае вынужденного вращения ведомого диска в вакууме, при прочих равных условиях.

В третьей серии экспериментов (схема – Рис. 1а) оба диска были выполнены из плотного картона толщиной 2,5 mm. Верхний диск хорошо динамически сбалансирован, у нижнего диска имелся значительный динамический дисбаланс. Зазор между дисками порядка 1,5 mm.

Как показали эксперименты, при использовании обоих дисков из картона, т.е. диэлектрического материала, качественно повторяются все эффекты силового взаимодействия дисков, изготовленных из алюминия. Различия были обусловлены большей жесткостью картонных дисков, вследствие значительно большей их толщины, чем у алюминиевых дисков, их большей массой и, вследствие этого, меньшей частотой вращения при одном и том же напряжении питания электродвигателей. Это обусловлено малой мощностью (14 W) использовавшихся в экспериментальном устройстве электродвигателей Д-14ФТ2с.

При подаче на оба электродвигателя напряжения 30 V для вращения дисков в одну сторону была сильная вибрация обоих электродвигателей, сильный шум подшипников, но значительной вибрации самих дисков не наблюдалось.

При подаче на оба электродвигателя напряжения 30 V для вращения дисков в противоположные стороны была значительная, визуально наблюдаемая, вибрация обоих дисков. Однако амплитуда колебаний была много ниже, чем при использовании алюминиевых дисков. Частота вращения картонных дисков была порядка 80 - 90 1/s, что значительно ниже, чем, при этом напряжении, у алюминиевых дисков – 100 - 120 1/s.

В моменты возбуждения максимальной амплитуды вибрации дисков наблюдалось сильное торможение обоих электродвигателей, вследствие касания дисками друг друга периферийными частями. Это приводило к замедлению вращения и к прекращению вибрации дисков. После этого, электродвигатели вновь раскручивались до максимальных оборотов, вновь возникала сильная вибрация дисков, и весь процесс повторялся.

При подаче на нижний электродвигатель напряжения питания 30 V, при отключенном, но расторможенном верхнем электродвигателе, после максимальной раскрутки нижнего диска начиналось вынужденное вращение верхнего диска (вместе с отключенным электродвигателем) в сторону вращения нижнего диска. Для торможения вынужденного вращения на верхний электродвигатель необходима была подача напряжения 9 V, для его вращения в сторону противоположную нижнему электродвигателю.

При увеличении зазора между картонными дисками до 2,5 mm вынужденное вращение и вибрация дисков не наблюдались. В тоже время, в случае с алюминиевыми дисками, вследствие большей частоты вращения, при том же зазоре, скорость вынужденного вращения дисков была значительной.

Те же эксперименты, но проведенные на воздухе (при нормальном атмосферном давлении в камере) показали, что вынужденного вращения в этом случае практически нет, даже при минимальном зазоре между дисками. Было только еле заметное проворачивание верхнего диска в сторону вращения нижнего диска, т.е. результат был аналогичен тому, что и в случае с алюминиевыми дисками.

В четвертой серии экспериментов (схема – Рис. 1а) верхний диск был алюминиевый (толщиной 0,9 мм), хорошо динамически сбалансированный, а нижний из картона

(толщиной 2,5 мм), с большим динамическим дисбалансом. Начальный зазор между дисками около 1,5 мм. Вышеописанное силовое взаимодействие дисков повторилось, с учетом того, что более легкий алюминиевый диск раскручивался до большего числа оборотов, чем картонный.

При подаче на оба электродвигателя напряжения 30 В для вращения дисков в противоположные стороны, после максимальной раскрутки электродвигателей начиналась сильная вибрация обоих дисков (Рис. 6). Особенно выраженной вибрация была у верхнего, тонкого алюминиевого диска (Рис. 6б). Как видно на фотографиях, верхний диск как бы отталкивался от более жесткого нижнего диска – его деформация была в основном в сторону от нижнего диска. Амплитуда изгибных колебаний торцов верхнего диска достигала 2-3 мм. Амплитуда колебаний нижнего диска (более жесткого) была многократно ниже, но хорошо наблюдалась, что особенно четко видно при видео просмотре. В моменты максимальной вибрации диски резко, кратковременно тормозились за счет механического контакта по периферии дисков и вибрация прекращалась. Затем процесс снова повторялся, аналогично описанному выше, как в случае двух картонных дисков.

Частота колебаний дисков составляла порядка 10-20 1/с. В некоторые моменты времени хаотические колебания верхнего диска переходили в относительно стабильную форму - винтовую закрутку поверхности диска, вращающуюся с частотой порядка 1-3 1/с (Рис. 6с, 6д), при частоте вращения самого диска составлявшей порядка 70-80 1/с.

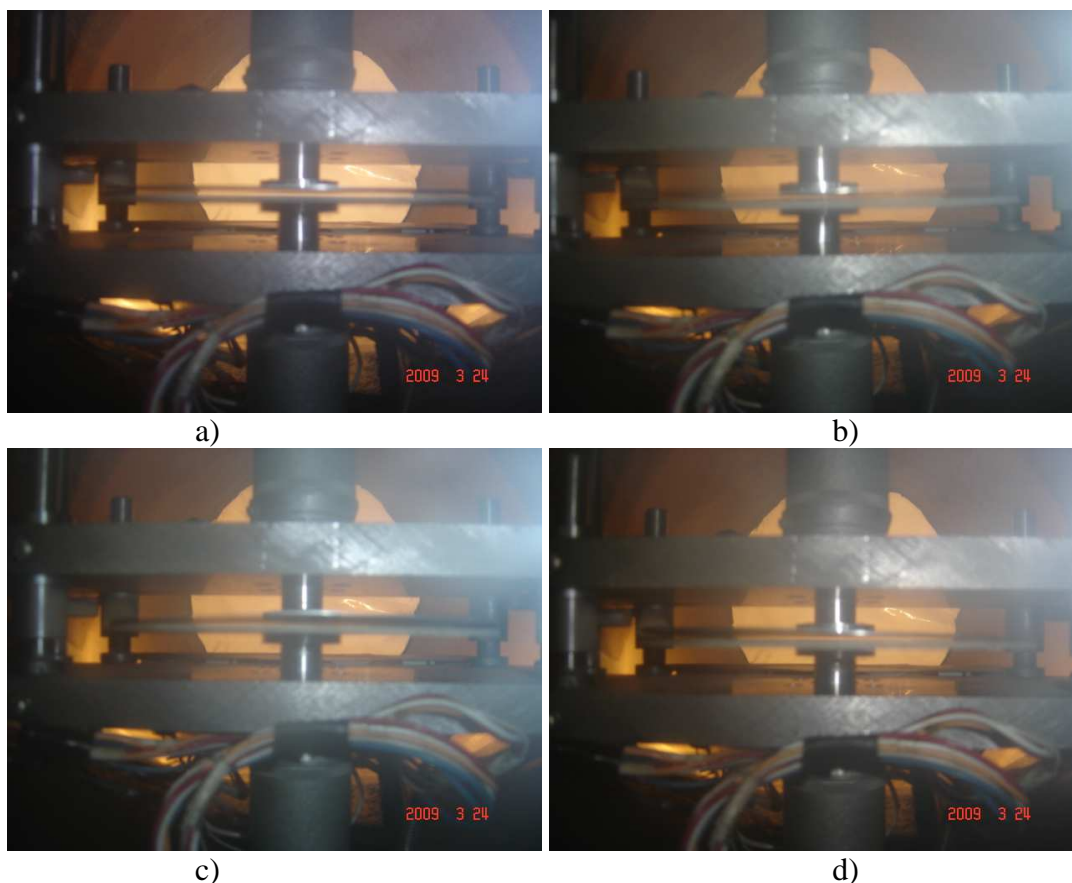




Рис. 6. Возбуждение высокоамплитудной вибрации алюминиевого и картонного дисков и изгиба их поверхностей при одновременном, противоположном вращении в вакуумной камере: а – начало вращения; б – вибрация верхнего диска; с, d – изгибная деформация верхнего диска

При отключении питания нижнего электродвигателя, и снижении частоты вращения нижнего диска, верхний электродвигатель вместе с алюминиевым диском раскручивался до максимального числа оборотов порядка 140-160 1/s. Таким образом, здесь также имеет место эффект взаимного торможения дисков при их одновременном вращении (без какого либо их механического контакта), как и при вращении двух алюминиевых дисков .

Измерение температуры после большого числа экспериментов и длительной работы устройства (после вскрытия камеры) показало, что температура алюминиевого диска достигала 80 °С, картонного диска – порядка 60 °С - по всей его площади. Плиты устройства также были горячие (50 - 60 °С).

При подаче на оба электродвигателя напряжения 30 V для вращения дисков в одну сторону была сильная вибрация обоих электродвигателей, был слышен сильный шум в подшипниках, но, при этом, сильной вибрации самих дисков не наблюдалось.

При зазоре между дисками 2 mm, на нижний электродвигатель подавалось напряжение питания 30 V, при отключенном, но расторможенном верхнем электродвигателе. После максимальной раскрутки нижнего картонного диска начиналось вынужденное вращение верхнего алюминиевого диска (вместе с отключенным электродвигателем) в сторону вращения нижнего диска. То же самое было при подаче питания на верхний электродвигатель, при отключенном, но расторможенном нижнем электродвигателе, т.е. вынужденное вращение нижнего диска. Остановка вынужденного вращения ведомого диска требовала подачи на его электродвигатель напряжения 8 - 9 V, для вращения его в сторону противоположную ведущему диску. Таким образом, установлено, что эффект возбуждения вынужденного вращения не зависит от вида материала (электропроводности), как ведущего, так и ведомого диска.

При зазоре между дисками более 3 mm, при том же напряжении питания электродвигателей, возбуждения вынужденного вращения здесь не наблюдалось.

В пятой серии экспериментов (схема - Рис. 1а) верхний диск был алюминиевый (толщиной 0,9 мм), а нижний из плотной бумаги (толщиной 0,25 мм). Начальный зазор между дисками 1,5 мм. Вышеописанное силовое взаимодействие дисков повторилось, с учетом того, что более легкий бумажный диск раскручивался до значительно большего числа оборотов (порядка 200 1/s), чем картонный (порядка 80 - 90 1/s).

При подаче на оба электродвигателя напряжения 30 V для вращения дисков в противоположные стороны, после максимальной раскрутки электродвигателей начиналась сильная вибрация обоих дисков (Рис. 7б). При вращении только одного из дисков этого эффекта не наблюдалось.

При варьировании скоростью вращения дисков (путем изменения напряжения питания или кратковременным отключением и последующим включением одного из электродвигателей) достигался перевод хаотических колебаний дисков в их синхронную деформацию в процессе вращения (изгибная волна). При этом наблюдалось сильное искривление поверхностей как алюминиевого, так и бумажного дисков. Это видно на полученных фотографиях (Рис. 7с и 7d) и особенно наглядно видно при просмотре имеющейся видеосъемки процесса. При этом, несмотря на большую амплитуду вибрации дисков, механического контакта между дисками не возникало. Диски с искривленной поверхностью, вращаясь во встречном направлении, как бы обтекали друг друга.

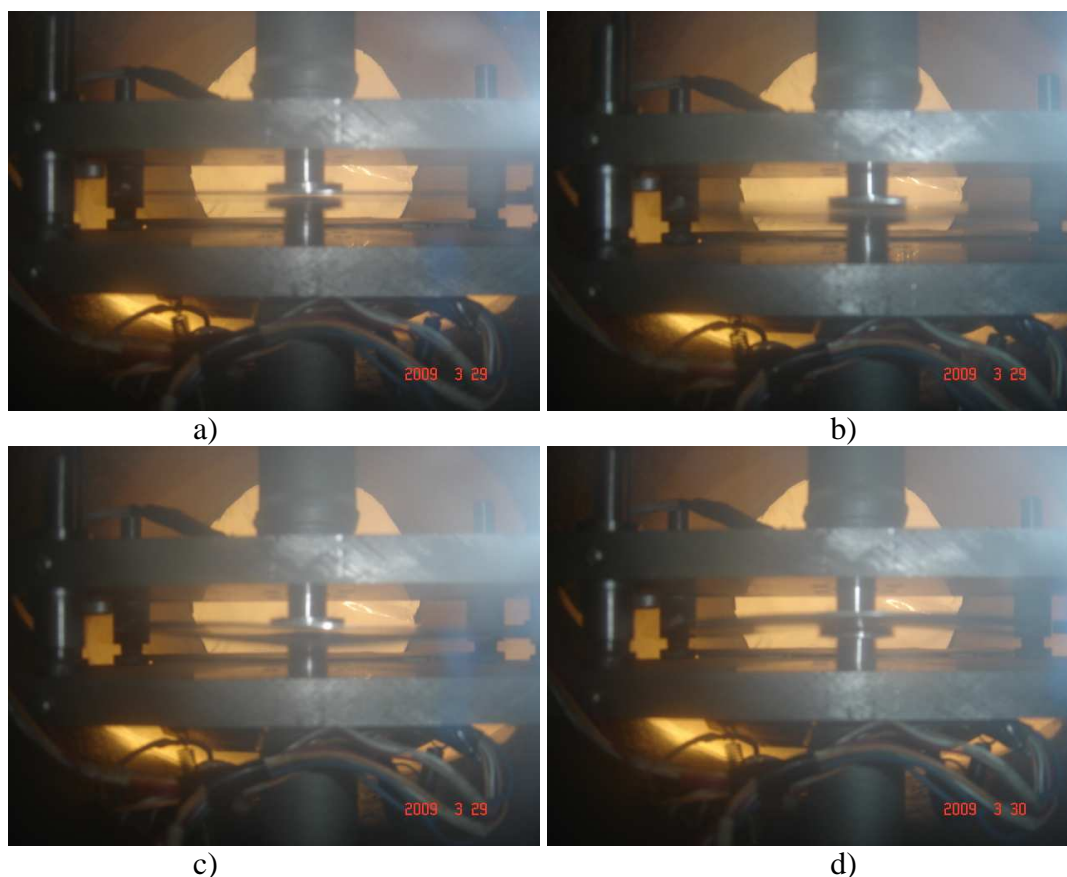


Рис. 7. Возбуждение высокоамплитудной вибрации алюминиевого и бумажного дисков и изгиба их поверхностей при одновременном, противоположном вращении в вакуумной камере: а – начало вращения; б – вибрация дисков; с, d – изгибная деформация дисков

Амплитуда вибрации и амплитуда изгибной волны верхнего алюминиевого диска в этом случае были значительно больше, чем в предыдущей схеме - с картонным диском, что обусловлено более высокими скоростями вращения дисков. Амплитуда вибрации и амплитуда изгибной волны нижнего бумажного диска в этом случае были значительно больше, чем у алюминиевого диска, что обусловлено меньшей его жесткостью (Рис. 7с).

При подаче на нижний электродвигатель напряжения питания 30 V, при отключенном, но расторможенном верхнем электродвигателе, после максимальной раскрутки бумажного картонного диска начиналось вынужденное вращение верхнего алюминиевого диска (вместе с отключенным электродвигателем) в сторону вращения нижнего диска. Остановка вынужденного вращения ведомого алюминиевого диска

требовала подачи на его электродвигатель напряжения 10 - 12 V, для вращения его в сторону противоположную ведущему бумажному диску. Для начала его вращения в свою сторону (противоположно ведущему диску) требовалась подачи напряжения питания на его электродвигатель более 16 V. Описанное взаимодействие, но более слабое, наблюдалось и при начальном зазоре между дисками 4 mm.

Обратного эффекта не наблюдалось, т.е. при раскрутке верхнего алюминиевого диска нижний бумажный диск не начинал вынужденного вращения. Это обусловлено тем, что нижний (бумажный) диск, вследствие малой жесткости, прогибался за счет собственного веса и зазор между поверхностями дисков был более 4-5 mm. Однако, если нижний (ведомый) диск предварительно кратковременно раскручивался в сторону вращения верхнего (ведущего) диска и он распрямлялся за счет действия центробежных сил, то затем (после отключения его электродвигателя) продолжалось его вынужденное вращений, за счет массодинамического взаимодействия с верхним диском.

Особый эффект был отмечен, когда нижний диск был изготовлен из пластика толщиной 0,2 mm. Полностью повторилось взаимодействие при встречном вращении дисков. Однако, через некоторое время пластиковый диск (в процессе вращения) начал обтягивать фланец, на котором он крепился, и опустился вниз, увеличив зазор с верхним диском с начальных 1,5 mm до 5 mm. При этом за счет действия центробежных сил он оставался горизонтальным. Предположительно, это может быть объяснено действием сил отталкивания, возникающих между дисками при встречном вращении. Действие сил отталкивания объясняет и отсутствие механического контакта при большой амплитуде колебаний (вибрации) поверхностей дисков при их встречном вращении.

В шестой серии экспериментов, верхний диск был подвешен на нитях (схема - Рис. 1b), нижний диск был жестко закреплен на фланце ротора электродвигателя и имел небольшой динамический дисбаланс. Верхний электродвигатель был изначально заторможен, т.е. верхний диск не имел возможности вращения, кроме небольшой закрутки за счет эластичности нитей. На нижний электродвигатель подавалось напряжение 30 V.

При большом зазоре между дисками (2,5 - 3 mm) после разгона нижнего диска начиналась сильная прецессия верхнего (не вращающегося) диска. При малом начальном зазоре между дисками (1,5 - 2 mm) прецессия верхнего диска начиналась практически с момента начала разгона нижнего диска. При просмотре видеосъемки видно, что нижний диск при этом вибрировал.

Как видно на полученных фотографиях, при возбуждении прецессии центр массы верхнего диска поднимается. В исходном положении, нижняя поверхность диска совпадает с торцом центральной оси (Рис. 8a).

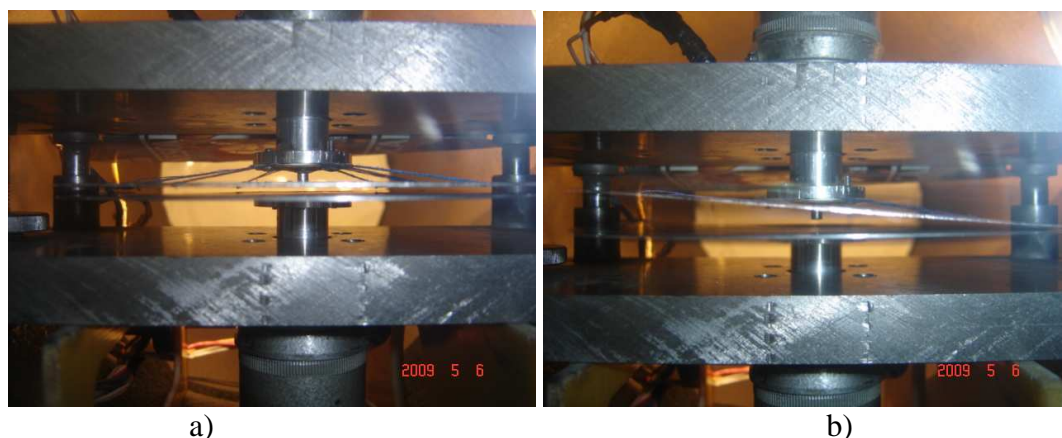


Рис. 8. Прецессия верхнего не вращающегося диска, подвешенного на нитях:  
а) исходное расположение, б) прецессия верхнего диска после раскрутки нижнего диска.

При возникновении прецессии верхний (не вращающийся) диск поднимался до контакта с фланцем, к которому крепятся нити подвески, и центральная ось выступала за пределы толщины диска (Рис. 8б).

Механического контакта между дисками не возникало даже при максимальной амплитуде прецессии. Подъем центра массы верхнего диска, при отсутствии его вращения, и постоянное наличие зазора между поверхностями дисков свидетельствует о действии силы отталкивания со стороны вращающегося нижнего диска на нижний диск при прецессии.

При растормаживании верхнего электродвигателя, через некоторое время (1 - 3 s) начиналось вынужденное вращение верхнего диска. По мере роста частоты вынужденного вращения верхнего диска возрастала и частота вращения нижнего электродвигателя, что было слышно по частоте звука. Частоты вращения верхнего диска при этом достигала 20 - 30 1/s, у нижнего диска 100 - 120 1/s. Т.е. после вынужденного разгона верхнего диска разгонялся и ведущий нижний диск (при том же напряжении питания). Таким образом, сильная прецессия ведомого (верхнего) диска значительно тормозила вращение ведущего (нижнего) диска при отсутствии между ними механического контакта.

При вынужденном вращении верхнего диска, с ростом частоты вращения, амплитуда прецессии верхнего диска уменьшалась до минимальных значений (Рис. 9б). При этом зазор между дисками превышал начальный зазор (до начала вращения нижнего диска - Рис. 9а) и торец центральной оси выступал за пределы толщины диска (Рис. 9б), но меньше чем в процессе прецессии при отсутствии вынужденного вращения верхнего диска (Рис. 8б).

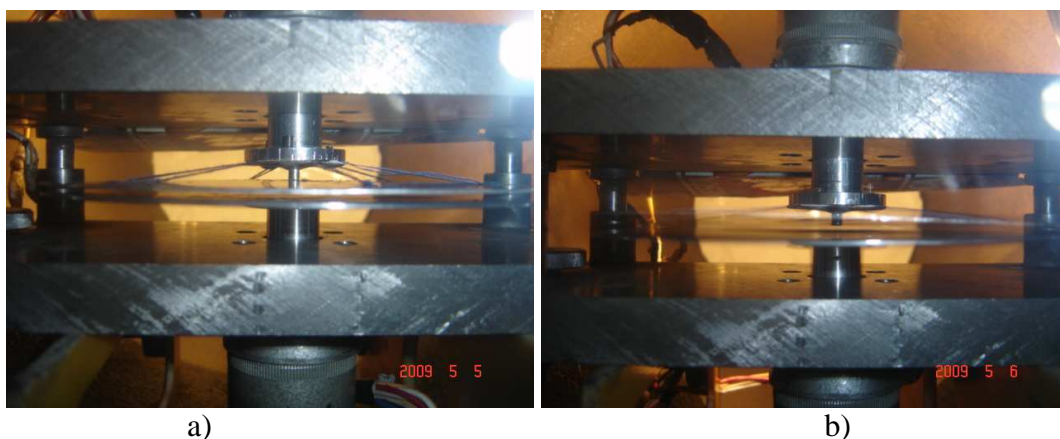


Рис. 9. Вынужденное вращение верхнего диска, подвешенного на нитях:  
а) исходное расположение дисков, б) при вынужденном вращении верхнего диска

Увеличение зазора между поверхностями дисков, в этом случае, происходило за счет закрутки диска на нитях вокруг центральной оси, вследствие действия, описанного выше, крутящего момента со стороны вращающегося нижнего диска. Кроме того, частично могло остаться описанное выше отталкивание дисков, т.к. оставалась небольшая прецессия верхнего диска.

При резком торможении верхнего диска (включении электромагнитных тормозов верхнего электродвигателя) прецессия верхнего диска мгновенно достигала исходных величин (как при изначально заторможенном его электродвигателе).

Эти эффекты на воздухе, при прочих равных условиях, не наблюдались. Было только малое (с частотой 0,05 - 0,1 1/s) вынужденное вращение верхнего диска. Причем, это было только при минимальном зазоре между дисками, который возникал за счет сближения дисков под действием аэродинамических сил - из-за снижения давления в зазоре между дисками при вращении нижнего диска. Прецессия верхнего диска при этом не наблюдалась.

Все вышеописанные эффекты массодинамического взаимодействия повторились при подвеске на нитях верхнего диска из картона (1,0 mm) и вращении нижнего диска из алюминиевого сплава, динамически несбалансированного, при начальном зазоре между дисками 2,5 mm. После раскрутки нижнего электродвигателя (напряжение 30 V) и алюминиевого диска, у верхнего картонного диска началась сильная высокоамплитудная прецессия и он поднимался до контакта с фланцем (Рис. 10). При растормаживании верхнего электродвигателя начиналось вынужденное вращение верхнего диска вместе с ротором его электродвигателя. Частота вращения верхнего диска при этом составляла 25 - 35 1/s. При этом амплитуда прецессии верхнего диска значительно снижалась, а частота вращения нижнего электродвигателя повышалась с 70 – 80 1/s до порядка 100 - 120 1/s.

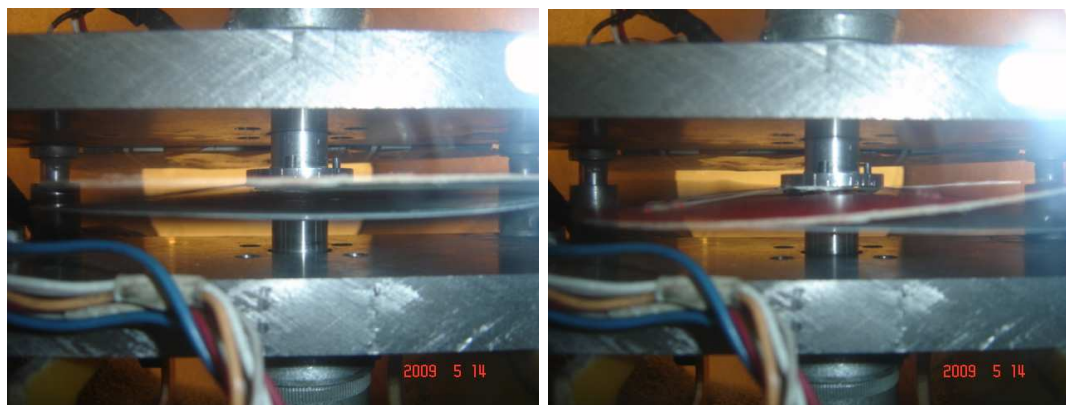


Рис. 10. Взаимодействие нижнего, не вращающегося, картонного диска (1,0 mm) с нижним алюминиевым, вращающимся диском (0,9 mm).

При замене нижнего алюминиевого диска на бумажный диск толщиной 0,25 mm, и подвешенном на нитях картонном диске получен качественно аналогичный результат (Рис. 11). При напряжении питания электродвигателя 10 - 12 V, после раскрутки гибкого бумажного диска до частоты вращения 30 – 50 1/s начиналась его высокоамплитудная и волнообразная деформация, вследствие чего на фотографии (Рис. 11b) он смотрится как полупрозрачный. При этом, возбуждалась сильная прецессия верхнего картонного диска (Рис 11b), аналогичная прецессии описанной выше, для других сочетаний материалов ведущего (нижнего) и ведомого (верхнего) дисков.

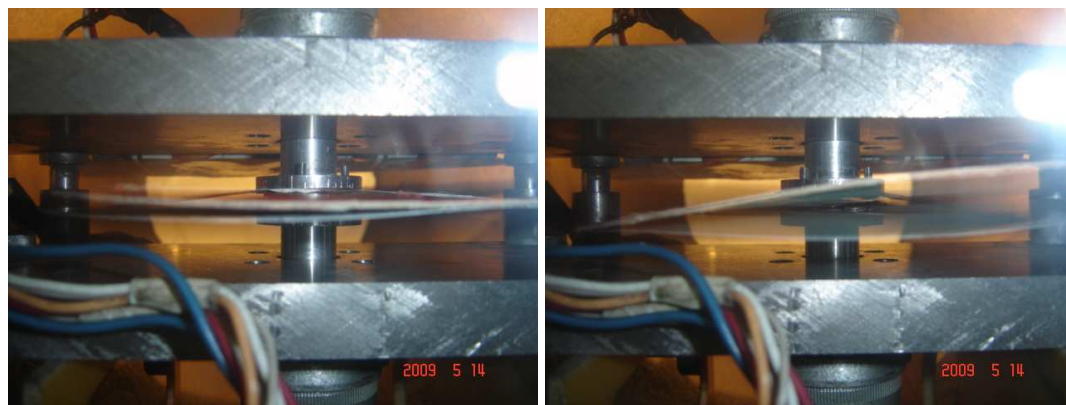


Рис. 11. Взаимодействие нижнего, не вращающегося, картонного диска (1,0 mm) с нижним бумажным, вращающимся диском (0,25 mm):  
а) начало взаимодействия, б) прецессия верхнего диска и высокоамплитудная вибрация нижнего диска

При высоких скоростях вращения (напряжение питания электродвигателя 30 V), за счет действия больших центробежных сил, волнообразная деформация бумажного диска практически исчезала, но при растормаживании верхнего электродвигателя возникало вынужденное вращение верхнего диска.

### **Объяснение механизма взаимодействия дисков**

Известно явление поляризации дисков в радиальном направлении, вращающихся с высокой угловой скоростью, за счет действия центробежной силы. В металлах это возможно вследствие отбрасывания к периферии диска электронов проводимости. В диэлектриках - за счет поляризации связанных зарядов или деформационной поляризации сегнетоэлектриков. Однако, попытка зафиксировать возникновение электрического поля вблизи торцов дисков при их вращении в проведенных опытах, с выше указанными скоростями вращения при их взаимодействии, с использованием простейшего электроскопа, дала отрицательный результат. Полоска тонкой лавсановой пленки, подвешенной на тонкой длинной нити внутри вакуумной камеры на расстоянии 5 - 6 mm от торцов дисков, никак не реагировала на вращение и взаимодействие дисков в вакууме, хотя легко притягивалась к любому подносимому наэлектризованному предмету (на воздухе).

Установка вблизи дисков магнитного компаса, реагирующего на весьма слабое магнитное поле Земли, показала отсутствие, сколь-нибудь значительного магнитного поля, вызванного вращением и взаимодействием дисков. С использованием индуктивного датчика (150 витков, диаметр навивки 8 mm, длина – 16 mm) подключенного к мультиметру «Mastech MY-62» (диапазон 0 – 200 mV) производилось измерение напряженности переменного магнитного поля вблизи торца и над плоскостью дисков. Измерения показали отсутствие наведения ЭДС в индуктивном датчике при раскрутке дисков, их вибрации и взаимодействии, т.е. переменное магнитное поле в исследуемом процессе взаимодействия дисков не возбуждалось (в пределах точности измерений), что полностью совпадает с результатами других исследований [7].

Таким образом, экспериментально установленные взаимодействия: возбуждение вибрации или прецессии, отталкивание дисков, взаимное торможение и нагрев, возбуждение вынужденного вращения - происходят в независимости от электропроводности материалов, как ведущего, так и ведомого дисков, и не вызывают наведение электрических или магнитных полей. То есть это взаимодействие дисков явно не носит электромагнитной природы.

При отсутствии динамического дисбаланса ведущего (вращающегося) диска, возбуждения вибрации и вынужденного вращения ведомого диска практически не наблюдается. Наличие динамического дисбаланса диска, вызывающего переменный квадрупольный момент, при его вращении, является необходимым условием интенсивного взаимодействия дисков. Как показано в работе [3] переменный квадрупольный момент ведущего диска приводит к излучению энергии, вызывающей прецессию (вибрацию) ведомого диска, его вынужденное вращение и силовое взаимодействие вращающихся дисков. При подвеске не вращающегося диска на нитях эта энергия вызывает его прецессию, а при растормаживании диска – его вынужденное вращение. В свою очередь, интенсивная прецессия ведомого диска приводит к возникновению его собственного массодинамического поля, взаимодействие которого с массодинамическим полем ведущего диска приводит к его торможению и одновременному нагреву обоих дисков [3, 4].

Природа наблюдаемого взаимодействия обусловлена динамикой движения масс: массой и частотой вращения дисков, имеющих динамический дисбаланс (переменный

квадрупольный момент вращения), т.е. это массодинамическое взаимодействие. Термические эффекты (нагрев дисков при их взаимодействии) обусловлены действием массодинамических полей, а также массодинамическими взаимодействиями на атомарном (молекулярном) уровне. Проявление массодинамического взаимодействия на атомарном (молекулярном) уровне лежит и в основе самого процесса взаимодействия дисков [2, 4].

При этом следует отметить, что вышеописанные эффекты массодинамического взаимодействия дисков наиболее наглядно проявляются при малой относительной толщине дисков. При большой относительной толщине дисков, вследствие их высокой жесткости, затрудняется изгибная деформация дисков (изгибная волна). При большой массе и относительно большой толщине ведомого диска затрудняется возбуждение его высокоамплитудной вибрации (прецессии) и связанного с этим его вынужденного вращения, при взаимодействии с ведущим диском, имеющим динамический дисбаланс.

При вращении дисков большой массы и толщины, массодинамическое взаимодействие между ними будет проявляться, прежде всего, в виде дополнительной нагрузки на подшипники, повышенной вибрации самих дисков и их привода. В то же время, при большой мощности привода, наглядный эффект массодинамического взаимодействия может быть реализован для толстых и массивных дисков при подвеске ведомого диска на нитях (струнах), как в выше представленных опытах. Ведущий диск, в этом случае, должен иметь значительный динамический дисбаланс.

## **Выводы**

1. Экспериментально установлена передача энергии в вакууме от одного (ведущего) диска, вращающегося с высокой угловой скоростью, второму (ведомому) первоначально неподвижному диску, механически с ним не связанному. Сначала наблюдается прецессия (или вибрация) ведомого диска, а затем его вращение в сторону вращения ведущего диска. Установлено, что начальная прецессия диска или его вибрация является необходимым условием интенсификации его вынужденного (при отключенном электродвигателе) вращения.
2. Экспериментально установлено значительное силовое воздействие в вакууме со стороны вращающегося с высокой скоростью ведущего диска на близкорасположенный, механически не связанный с ним ведомый диск. Величина создаваемого при этом крутящего момента достаточно велика, чтобы вращать электродвигатель вместе с ведомым диском. При малых зазорах между дисками, противодействие этому крутящему моменту требует подачи на связанный с ним электродвигатель напряжения величиной 0,3 - 0,8 от напряжения на электродвигатель ведущего диска, в зависимости от величины зазора между дисками и динамического дисбаланса ведущего диска.
3. При одновременном высокоскоростном вращении близко расположенных тонких дисков, независимо от материалов дисков, возникает их бесконтактное силовое взаимодействие, приводящее к сильной вибрации и совместной деформации дисков – изгибу плоскостей дисков. Интенсивность вибрации зависит от жесткости дисков и



частоты их вращения. Амплитуда вибрации растет с уменьшением жесткости дисков и увеличением частоты их вращения. При встречном (противоположном) вращении, между дисками возникают силы отталкивания, препятствующие механическому контакту поверхностей дисков в процессе их высокоамплитудной вибрации и совместной изгибной деформации

4. Силовое взаимодействие и взаимное торможение дисков при одновременном длительном бесконтактном вращении в вакууме приводит к их значительному (на 50 - 70 °С) нагреву. В случае вращения только одного диска его нагрев не наблюдался. Силовое взаимодействие в вакууме, вращающихся с высокой скоростью дисков, проявляется независимо от электрических характеристик материалов дисков, не сопряжено с возбуждением сколь-нибудь значительных магнитных и электростатических полей. Таким образом, установленные эффекты не носят электромагнитной природы, а обусловлены относительным движением (вращением) масс.

5. Все вышерассмотренные эффекты проявляются только при вращении дисков в вакууме. При вращении дисков при нормальном атмосферном давлении в камере высокоамплитудная вибрация дисков не возникает, закрутки плоскостей дисков в процессе их одновременного встречного вращения не происходит. Также (в воздушной среде) не возбуждается вынужденное вращение одного диска при максимальной скорости вращения второго диска. Незначительный эффект возбуждения вынужденного вращения с частотой менее 0,05 - 0,1 1/s наблюдался на воздухе только при зазоре между дисками менее 1 мм.

## Список литературы

1. Самохвалов В.Н. Экспериментальные доказательства существования массодинамических полей и сил / Фундаментальные проблемы естествознания и техники. Труды Международного научного Конгресса-2008, выпуск 33, книга вторая (Н-Я). – С-Петербург: Невская жемчужина, 2008. – С. 488-497.
2. Самохвалов В.Н. Экспериментальное исследование массодинамического взаимодействия вращающихся дисков <http://www.sciteclibrary.ru/rus/catalog/pages/9038.html>
3. Самохвалов В.Н. Гравитационное излучение и гравимагнитное взаимодействие при высокоскоростном вращении малых несбалансированных масс. <http://www.sciteclibrary.ru/rus/catalog/pages/9368.html>
4. Самохвалов В.Н. Динамическое взаимодействие в вакууме вращающихся масс. <http://www.sciteclibrary.ru/rus/catalog/pages/9530.html>
5. Самохвалов В.Н. Влияние электропроводности материалов на взаимодействие вращающихся масс. <http://www.sciteclibrary.ru/rus/catalog/pages/9629.html>
6. Самохвалов В.Н. Неэлектромагнитное силовое взаимодействие вращающихся тел. <http://www.sciteclibrary.ru/rus/catalog/pages/9711.html>
7. Азад Р. О проблеме возникновения магнитного поля у вращающихся объектов (Краткий обзор работ) <http://vestnik.sci.pfu.edu.ru/archiv-phys/articles-phys/2001-9-1/pdf/azad-2001.pdf>