УДК: 53.043, 532.5, 533.6.01, 533.16, 533.17

PACS: 47.10.ab

DOI:

Full name: Vadym Alexeevich Ostanin

Self employed engineer

**Effects of repulsion and attraction between spinning discs in fluids**

**V.A. Ostanin**

03039, 16 Demiivska Str, Kyiv, Ukraine

**Abstract**

**Purpose.** The effects ofcontrollable attraction and repulsion of spinning circular object in a fluid is proposed. This study provides an overview of the push/pull effects caused by pair of spinning discs. The purpose of this study is to explain principles that cause push/pull effects pair of spinning circular objects in the fluid medium and investigate dependencies of force on relative spin directions and rotation speed. This study was inspired by magnetic effects caused by "spin" property of electrons and push/pull effects between two current-carrying wires.

**Methods.** The practical experiment uses a pair of plastic tubes that driven by motors and spin close to each other in air at an atmospheric pressure.

**Results.** A spinning disc adjacent to another spinning disc forms space of high or low pressure of air between them depending on spin direction. Spinning discs with opposite spin directions speed up air flow in gap that reduce air pressure between spinning objects and attracts them. Vise-versa, spinning discs with same directions damp air flow in gap that increase air pressure between spinning objects that repel them. Dependency between directions of spinning objects and observed ​effects had been verified by numerical simulation using OpenFOAM9.

**Conclusions.** Observed repulsion and attractioneffects can be exploited to manipulate objects in cases where magnetic or other touchless interactions aren’t possible. Also, it can be used as analogy to magnetic repulsion and attractioneffects between two current-carrying wires.

1. **Introduction.**

Эта статья описывает опыт и объясняет наблюдаемые эффекты контролируемого притяжение и отталкивания в несжимаемой флюидной вязкой ламинарной среде газа или жидкости с числом Рейнольдса от до для воздуха, и до  для воды в численной симуляции между двумя вращающимися дисками. Этот эффект пригодится для инженерной задачи бесконтактного взаимодействия между объектами, когда электрические или магнитные поля могут негативно повлиять на устройство. Описываемый эффект был обнаружен под вдохновением от изучения магнитных эффектов вызванных “спин” свойством электрона в проводниках с током. Но, как будет показано в статье, похожие эффекты наблюдаются и в флюидных средах. Закон Бернулли используется для объяснения притяжения и отталкивания в зависимости от направления вращения пары дисков. Объектом исследования являются два пластиковых цилиндра длиной 10 см и диаметром 5 см, приводимые во вращение двигателями. Предметом исследования являются эффекты притяжения и отталкивания, возникаемые между вращающимися цилиндрами, а также изучается как эффекты зависят от взаимодействий циркуляций флюидов вокруг цилиндров. Объединения или сталкивание циркуляции ведёт к повышения или понижения давления между цилиндрами, соответственно. Практический эксперимент проводился в воздушной стационарной вязкой среде при атмосферном давлении. Численные симуляции проводились для воздуха и воды при различный скоростях вращения до RPM.

1. **Методология**

Оборудование для експеримента состоит из двух гладких пластиковых цилиндров диаметром 50 мм и длиной 100 мм. Они приводятся во вращение двумя независимыми моторами, запитывающимися от источника постоянного тока. Один из цилиндров подвешен на тонкой проволоке к каркасу, а второй находится в свободном положении для манипулирования им рукой. Проволока использовалась вместо нитки, чтобы уменьшить раскручивание из-за свойств нити к раскручиванию при натяжении. Вокруг установки воздух стационарен с атмосферным давлением. При включении обоих моторов, цилиндры раскручиваются до стабильной скорости приблизительно оборотов в минуту. Скорость вращения измерялась цифровым тахометром с точностью 0.05%.

Характеристики эксперимента:

- радиус цилиндра

– скорость вращения цилиндра

– плотность воздуха при 25 ̊

*–* кинематическаявязкость воздуха при 25 ̊

*–* динамическая вязкость воздуха =

– плотность воды при 25 ̊

*–* кинематическаявязкость воды при 25 ̊

*–* динамическая вязкость воды при 25 ̊ =



**Fig. 3.** Circulation around cylinder

**Fig. 2.** Boundary layer flow

over a rotating disc [2].

**Fig. 1.** Rotating cylinder geometry

Придав каждому цилиндру вращение, пограничный слой будет образовываться на вращающемся теле вращения из-за условия прилипания к поверхности тела с эффектом «условия отсутствия проскальзывания», что означает, что на границе твердого объекта вязкая жидкость течет с нулевой скоростью относительно этой границы. Когда каждый цилиндр вращается, это создает очень тонкий «пограничный слой» вокруг цилиндра, как показано на Рис. 2, воздух рядом с шариком просто вращается вместе с ним с той же скоростью. Цилиндр буквально тащит за собой воздух. А в следующий слоях вращение в вязкой среде создаёт безвихревую циркуляцию потока по окружности вокруг цилиндра. Скорость циркуляции флюидов вокруг цилиндра обратно пропорционально зависит от расстояния от цилиндра .

|  |  |
| --- | --- |
|  | (1) |

Во время первых условий эксперимента цилиндры вращаются в противоположные стороны, ручной цилиндр подносился к висячему цилиндру и на расстоянии 5 и менее сантиметров наблюдалось притяжение висячего цилиндра к ручному. Меняя условия эксперимента и вращая цилиндры в одном направлении, ручной цилиндр также подносился к висячему цилиндру и на расстоянии 5 и менее сантиметров наблюдалось отталкивание висячего цилиндра к ручному цилиндра.

Для подтверждения причин наблюдаемых эффектов использовалась программное обеспечение численной симуляции OpenFOAM версии 9 с PISO алгоритмом (**Fig.** **4**.). Длительность всех симуляций равна 40 секундам.



**Fig.** **4.** Single cylinder circulation simulation, RPM

**Fig. 5.** Single cylinder velocity distribution, RPM

По мере увеличения скорости пограничные слои ускоряют вязкий поток воздуха вокруг цилиндра, формируя отдельные безвихревые циркуляции потоков воздуха в виде концентрических окружностей. При резком старте вращения цилиндра вначале могут наблюдаться вихревые потоки, но через несколько секунд циркуляция становилась без вихревой. Вязкое трение значительно влияет на поведение среды. Циркуляция потоков флюидов, обусловленная силами вязкого трения, возникает вокруг вращающегося цилиндра. В пограничной зоне воздуха и цилиндра давление самое низкое из-за условия отсутствия проскальзывания потока, что согласуется с уравнением Бернулли для вязкой жидкости:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (1) |

При вращении цилиндр увлекает прилегающие слои воздуха, вызывая его циркуляцию. Безвихревые циркуляции вязкой среды охватывают всё пространство вне цилиндра, при условии безграничности пространства вокруг. Но если пространство ограничено, например стенками, то в районе стенок возникают завихрения. Но скорость потока в этих завихрениях намного меньше основного потока возле цилиндра, поэтому они не учитываются в наблюдениях эффектов. Чем больше вязкое трение, тем более стабильны циркуляции, и тем медленнее скорость циркуляции убывает, отдаляясь от цилиндра. Скорость течения жидкости различна у стенок и вдали от них. Если ввести поперечную (перпендикулярную к вектору скорости движения) координату расстояния от поверхности цилиндра *r*, то скорость жидкости есть функция этого расстояния v(*r*) (**Fig. 5.**). Эта зависимость определяется передачей импульса в поперечном направлении или иначе градиентом скорости, как и в случае вязкого газа:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (2) |

Сила взаимодействия соседних слоев, соприкасающихся по поверхности S, равна:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (3) |

Отдаляясь от цилиндров, скорость циркуляции уменьшается, сохраняя давление близким к стационарному, являющимся более высоким относительно окружения вблизи цилиндра.

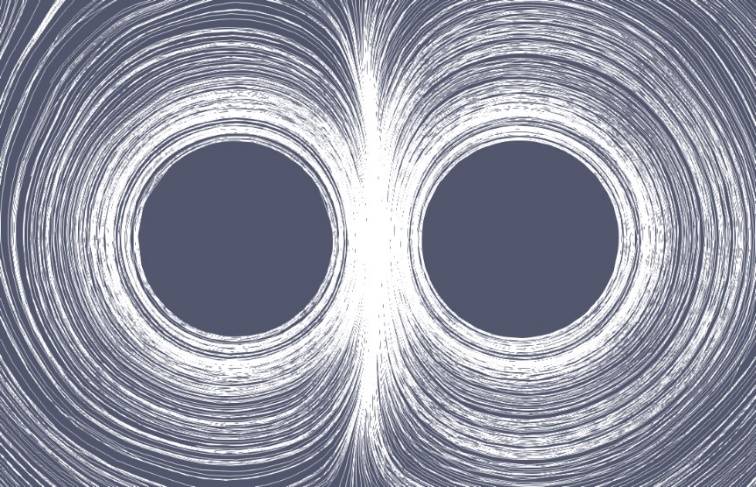
**1.2 Эффект флюидного притяжения**

В области вблизи поверхности цилиндра, где требуется более высокая точность, используется мелкая сетка. Удаляясь от поверхности, сетка становится грубее.

****

**Fig 6**. Computational grid.

Два цилиндра диаметром 0.05 метра на расстоянии 0.025 метра друг от друга настраиваются на вращение в противоположных направлениях, например один цилиндр настраивается на вращение против часовой стрелки, а другой по часовой стрелке. Между цилиндрами потоки сходятся, сохраняя высокую скорость циркуляции, и понижая давление между ними (**Fig. 7.**). Скорость циркуляции каждого цилиндра между цилиндрами не уменьшается с ростом расстояния, а она поддерживает скорость за счёт циркуляции соседнего цилиндра (**Fig. 8.**). Разность давлений снаружи цилиндров и внутри цилиндров создаёт силу, действующую на каждый цилиндр в отдельности, направленную снаружи каждого цилиндра во внутрь пространства между цилиндрами (**Fig. 9.**).



**Fig. 8.** Air flow velocity distribution view of simulation

**Fig. 7.** Air flow circulation stream tracer of simulation



b)

a)

**Fig. 9.** Air pressure distribution view of simulation.

**Fig. 10.** Data representation of simulation:

a) Air velocity; b) Kinematic pressure

Сила, возникающая из-за разности внешнего и внутреннего давления, вычисляется с помощью формулы из определения давления:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (4) |

Тогда сила равна произведению разности давлений на площадь поверхности испытующей давление:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (5) |

Из результатов симуляции видно, что давление между цилиндрами посередине равно (**Fig. 10.**). Если задать давление вне цилиндров атмосферное стационарное как , где скорость флюидов мизерна по сравнению со скоростью самого цилиндра, то разность давлений относительно атмосферного равна:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (6) |

Площадь контакта внешнего давления по направлению в пространство между цилиндрами равна половине поверхности цилиндра:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (7) |
|  | (8) |

Используя разность давлений (6) и площадь контакта (8), сила (5) вычисляется как:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (9) |

**

Используя формулы выше, вычислим силу . Для этого зададим (**Fig. 11.**) для воды также как и для воздуха, потому что внешнее давление равно стационарному давлению. А внутреннее давление ровно между цилиндрами дано из графика распределения давлений симуляции (**Fig. 11.**).

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | | (10) | |
|  | | (11) | |
|  | | (12) | |

|  |  |
| --- | --- |
|  | (13) |

Используя разность давлений и площадь контакта , сила вычисляется как:

**Fig. 11.** Water kinematic pressure distribution graph of simulation.

**1.3. Эффект флюидного отталкивания**

Оба цилиндра настраиваются на вращение в одинаковых направлениях, например один цилиндр настраивается на вращение против часовой стрелки, а другой по часовой. По мере увеличения скорости их пограничные слои ускоряют поток воздуха вокруг каждого из них формируя отдельные потоки воздуха в виде концентрических окружностей.



**Fig. 12.** Air flow circulation stream tracer of simulation

По мере увеличения скорости потоки воздуха вокруг цилиндров объединяются, формируя единый поток. Но не весь поток движется вокруг. Придавленные внешним атмосферным давлением потоки воздуха у пограничного слоя цилиндра, всё ещё движутся вокруг каждого из цилиндров. Но пытаясь двигаться между цилиндров, встречают встречный поток от соседнего цилиндра. Это столкновение потоков создаёт избыточное давление между цилиндрами. Это избыточное давление больше атмосферного и благодаря ему оба цилиндра стремятся отталкнуться от зоны повышенного давления.

**Fig. 13.** Air flow velocity distribution view of simulation view

Также из-за столкновения, скорость потоков между цилиндра практически равна нулю (**Fig. 13.**).



Pressure differential

Список литературы

1. Бутиков Е.И. Физика Кн.1 страницы 348 349
2. Peter R.N. Childs. Rotating Flow, DOI: 10.1016/B978-0-12-382098-3.00006-8, Chapter 6
3. Р. Фейнман, Р. Лейтон, М. Сэндс. Фейнмановские лекции по физике. Том 2. Электромагнетизм и материя
4. 1. И.П.Ипатова, В.Ф.Мастеров, Ю.И.Уханов. “Курс физики”. Том 1. Механика. Термодинамика. СанктПетербург. Изд.СПбГТУ, 2001.
5. 2. А.Н. Матвеев “Молекулярная физика”, Высшая школа, 1981.
6. 3. Д.В. Сивухин “Термодинамика и молекулярная физика”, 2-й том курса общей физики. Наука, 1979.
7. 4. И.В. Савельев Курс общей физики, т.1. Наука.
8. 5. Берклеевский курс физики. Том 5. Авторы: Рейф и др.
9. 6. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Статистическая физика. Т.5 Теоретической физики. Наука, 1976