**ВОЗНИКНОВЕНИЕ ВОДОВОРОТА**

***АЛЯМКИН АЛЕКСЕЙ***

Сила Кориолиса

Если налить полную ванну воды, а затем вытащить пробку, то небольшая воронка возникнет на исходе вытекания воды. Вода в ванне или в каком-либо ином сосуде с дыркой на дне всегда закручивается в одну сторону. Даже если воду раскрутить рукой в другом направлении, то, преодолев насилие, она вернет свою природную закрутку. Это связано с силой Кориолиса, которая вызвана вращением Земли вокруг своей оси, причем вектор силы изменяется с широтой. В северном полушарии вода закручивается по часовой стрелке, в южном - против, на экваторе - сливается без вихрей, а на полюсах совсем не течет. Сила Кориолиса является силой инерции. Эта сила действует на тело только тогда, когда неинерциальная система отсчета вращается, а тело движется относительно нее.

Kориолисова сила инерции:

, где m - масса тела, v - скорость поступательного движения,



- скорость вращательного движения тела.



Рассчитаем силу Кориолиса, действующую на человека массой m=60 кг, движущегося со скоростью v=1 м/c, находящегося на географической широте :



.



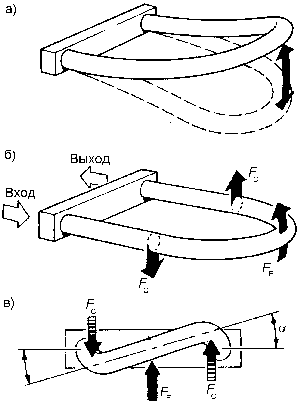
.



Кориолисово ускорение на нашей широте очень мало, поэтому мы его не ощущаем. Но с силой Кориолиса связаны такие природные явления, как подмытие правых берегов рек, движущихся в меридиональном направлении, или возникновение смерчей и т.д.

# Принцип измерения сил Кориолиса

В качестве датчика используется U-образная трубка, помещенная в электромагнитное поле регулируемой частоты. Под действием этого поля трубка колеблется, причем амплитуда колебаний будет наибольшей на частоте резонанса (рис. 1, а).



Изменение массы вызывает изменение резонансной частоты. Это изменение частоты измеряют и оценивают, на базе чего определяют изменение массы. Поскольку геометрические размеры трубки не меняются, то изменения резонансной частоты определяются массой протекающей через трубку жидкости. Мгновенное значение объема заполняющей трубку жидкости постоянно и определяется неизменными размерами трубки, поэтому изменение резонансной частоты может определяться только плотностью протекающей жидкости.

Рис. 1. Принцип измерения, построенный на определении силы Кориолиса (FC):

а - колебания трубки; б - возникновение сил Кориолиса; в - поворот трубки ; FE - сила э.м. поля; - угол поворота .



Жидкость, протекающая в трубке, взаимодействует с импульсами колебаний последней (рис. 1, б). Если, например, трубка движется вверх, то протекающая в ней жидкость давит на нее вниз, замедляя движение трубки. Одновременно жидкость получает от трубки импульс, направленный вверх. На выходе из трубки этот импульс действует таким образом, что движение петли в этом месте усиливается. В то же время на входе движение трубки тормозится, в результате чего образуется момент вращения, стремящийся повернуть датчик (рис. 1, в). Если трубка движется вниз, то момент ее вращения будет направлен в другую сторону. Это явление называется эффектом Кориолиса.

Угол поворота датчика пропорционален массе протекающей жидкости и служит ее мерой. При отсутствии потока угол поворота равен нулю. Когда плотность и масса протекающей жидкости определены, можно делать вывод о ее объеме.

На базе высокой технологии изготовления датчика и современной электронной системы обработки результатов измерений промышленность выпускает приборы, диапазон измерений которых оценивается соотношением 1:200 (обычные системы имеют диапазон измерения 1:10). Точность измерения новых приборов составляет 0,1 %, обычных 0,3 %.

Движение воды в водовороте.

Пусть в воде находится тело, таких размеров, что его взаимодействием с молекулами воды можно пренебречь. Тело совершает вращательное движение вокруг центра О на расстоянии R1 от него со скоростью . R2 v1



Момент импульса этого тела

L равен:

. O m



Представим теперь, что это тело вращается

вокруг центра О на расстоянии R2<R1 R1

со скоростью , тогда:



.



Выразим отсюда величину :



, т.е. приближение к центру вращения приводит к увеличению скорости тела.



Напишем выражения для угловых скоростей:,



.



Отсюда следует, что угловая скорость возрастает обратно пропорционально квадрату радиуса, то есть увеличение частоты вращения может быть очень большим.

Сравним кинетическую энергию тел, находящихся на расстояниях R1 и R2 от центра О:

,



.



Ускорение вращения связано с таким же увеличением кинетической энергии тела. Это возможно благодаря тому, что потенциальная энергия опускающейся воды уменьшается, и по закону сохранения энергии она используется на увеличение кинетической энергии, то есть на увеличение скорости движения.

Турбулентность.

При малых скоростях наблюдается упорядоченное течение жидкости (газа), при котором жидкость (газ) перемещается как бы слоями, параллельными направлению течения. Такое течение называется ламинарным. С увеличением скорости в некоторый момент режим течения меняется, оно становится турбулентным.

Необычность явления заключается в том, что картина течения жидкости изменяется во времени, даже если внешние условия постоянны. Например, в турбулентном течении в трубе при неизменном перепаде давления на концах трубы скорость жидкости в любой точке пульсирует, меняется во времени. При таком течении жидкости или газа отдельные элементы течения совершают неустановившиеся движения по сложным траекториям. В таких течениях образуются многочисленные вихри различных размеров, поэтому скорость частиц, температура, давление, плотность меняются при переходе от точки к точке и во времени не регулярно. Это приводит к интенсивному перемешиванию вещества.

Систематическое изучение турбулентности начал О.Рейнольдс в конце прошлого века. Он изучал течение жидкости в трубе, для визуализации течения он подкрашивал жидкость в центре сечения трубы. При малом перепаде давления подкрашенная струйка жидкости не смешиваясь с остальной жидкостью в объеме трубы, спокойно текла вместе с ней. При некотором критическом перепаде давления по подкрашенной струйке появлялись волнообразные движения. При очень большом перепаде давления скорость движения внутри трубы было быстрым и хаотичным, струйка сразу же размешивалась по трубе. Рейнольдс проводил опыты с разными размерами труб и жидкостями и выяснил, что переход от стационарного течения жидкости к меняющемуся во времени происходит, когда некоторая безразмерная комбинация скорости жидкости, ее вязкости и размеров трубы достигает одного и того же значения. Эта безразмерная комбинация имеет вид:

,



где v - характерная скорость движения жидкости, L - характерные размеры течения, а s - кинематическая вязкость жидкости. Число Re называется числом Рейнольдса, и его численное значение в основном и определяет характер течения жидкости: при малом числе Рейнольдса течение ламинарно (гладкое регулярное течение), а при большом -- турбулентное (нерегулярное, в течении присутствуют вихри гораздо меньшего размера, чем размеры трубы).

Характерные значения чисел Рейнольдса, при которых постоянство течения изменяется, и появляются волнообразные движения, это десятки. Развитая турбулентность (когда движение на глаз действительно хаотично) наступает при числах Рейнольдса порядка тысячи.

Качественная картина развитой турбулентности была дана Л.Ричардсоном в начале нашего века. Если мы мешаем ложкой жидкость в стакане, то мы создаем течения с размером порядка размера стакана (или ложки). Вязкость жидкости действует на течение тем сильнее, чем меньше характерный размер течения (больше градиент скорости). Если число Рейнольдса большое, то на эти крупномасштабные движения она действует слабо, эти движения за счет вязкости затухали бы очень долго. Уравнение движения жидкости (уравнение Навье- Стокса ) не линейно (это связано с тем, что скорость жидкости переносится самой скоростью), и эти крупномасштабные движения неустойчивы. Они дробятся на более мелкие вихри, те в свою очередь на еще более мелкие. В конце концов, на самых маленьких масштабах вступает в действие вязкость, и самые мелкие вихри затухают за счет вязкости. Эта картина получила название прямого каскада (каскад от больших масштабов в маленькие).

Из-за вязкости кинетическая энергия движения жидкости постепенно переходит в тепло. Мешая ложкой, мы вкачиваем энергию в жидкость, а она диссипирует (исчезает). В динамическом равновесии энергии исчезает столько же, сколько мы ее вкачиваем. Нетривиальным является тот факт, что создаваемые ложкой крупномасштабные движения не зависят от коэффициента вязкости. При одинаковом крупномасштабном движении и при разных коэффициентах вязкости диссипация энергии одинакова. Это странно потому, что вроде бы энергии исчезает тем меньше, чем меньше вязкость. Разгадка состоит в том, что при меньшем коэффициенте вязкости энергия диссипирует просто в более мелких масштабах течения жидкости, что и обеспечивает одинаковый уровень диссипации энергии.

В середине нашего века Колмогоров предположил, что картина турбулентного течения практически не меняется, если мы растянем все длины в несколько раз (гипотеза масштабной инвариантности или скейлинга). Кроме того, он предположил, что вихри очень разных размеров не взаимодействуют (большой вихрь просто переносит маленький, не меняя течения внутри него). Из этого он получил, что число вихрей масштаба l зависит от l степенным образом. Гипотеза Колмогорова в получила экспериментальное подтверждение, хотя наблюдаются отличия реального турбулентного движения от картины, предсказываемой теорией Колмогорова (аномальный скейлинг).

Теория гидродинамической турбулентности в завершенном виде не создана, и является одной из важных проблем современной теоретической физики. Широко распространены так называемые полуэмпирические теории турбулентности (решается не само уравнение Навье- Стокса, а упрощенное уравнение, делаются неконтролируемые предположения). Если воспринимать турбулентное течение как случайное, то пока неизвестна даже сама функция распределения для течения (неизвестен вес, с которым нужно усреднять наблюдаемые величины).

Гидродинамическая турбулентность является сильной в том смысле, что нелинейность уравнений движения жидкости при больших числах Рейнольдса играет определяющую роль. В некоторых физических ситуациях (например, гравитационные волны на поверхности жидкости) нелинейность является малой, хотя также наблюдается каскадный режим. Такую турбулентность называют слабой, и ее теория развита во второй половине нашего века, главным образом усилиями выпускника НГУ В.Е.Захарова (сейчас он является директором Института теоретической физики им. Л.Д.Ландау в Москве).

В теории картина турбулентности сильно зависит также от размерности пространства, это связано с тем, что в каскаде с больших масштабов в маленькие может переноситься разные величины (в трехмерной турбулентности это энергия, в двухмерной - квадрат завихренности). В двухмерной турбулентности имеет место также перенос энергии из малых масштабов в большие (обратный каскад).

В практической эксплуатации измеряют массу топлива. Результат измерения не зависит от давления и температуры. Поскольку поставляемое топливо учитывают в тоннах, то масса является наиболее приемлемым параметром для раздаточных колонок.

**Возникновение водоворота**

Если мы вы-тащим пробку из ванны, то в отверстии возникает область пони-женного давления, в которую устрем- ляются молекулы воды. При движении частиц в воде к центру отверстия на них действует сила Кориолиса, в данном случае она максимальна.



При движении под действием силы тяжести сила Кориолиса действует вдоль радиуса, поэтому вращения не происходит и, следовательно, водоворот не наблюдается.

Частицы воды начинают вращаться. На вращающиеся частицы действует сила тяжести и центробежная сила. Сила тяжести направлена верти-кально вниз. Центробежная сила при приближении к оси возрастает. Равнодействующая сила F направлена наклонно. У жидкостей есть свойство, что их поверхность должна быть перпендикулярна равнодействующей силе, следовательно, поверхность воды, практически горизонтальная вдали от оси, все более наклоняется и переходит в вертикаль в самой узкой части воронки.



Список литературы

1. Х. Кухлинг «Справочник по физике», 1982г.
2. А.А. Пинский «Физика 10 класс», 1997г.
3. А.А. Детлаф, Б.М. Яворский «Курс физики», 1989г.
4. Л.Г. Лойцянский «Механика жидкости и газа», М., 1978г.
5. Д.В. Сивухин «Курс общей физики», т.1 Механика, Москва, 1989г.

Рис. 1. Принцип измерения, построенный на определении силы Кориолиса (Fк):

а - колебания трубки датчика; б - возникновение сил Кориолиса; в - поворот трубки датчика; FE - сила электромагнитного поля; - угол поворота датчика.

