

смерч. Вблизи извергающихся вулканов, лесных пожаров и больших костров образуются огненные смерчи. Зимой над незамерзающим озером иногда удается наблюдать туманный вихрь. Дома его можно воспроизвести, пустив струю холодного воздуха над поверхностью теплой воды, наполняющей ванну. Такие же вихорьки возникают на поверхности вынесенного на мороз горячего чая – они образуются вследствие неустойчивости влажного теплого воздуха, расположенного над холодным.

Слив воды в ванне

Конечно же, все видели удивительный короткоживущий вихрь, образующийся при сливе воды в ванне и расположенный вертикально над сливным отверстием. Простые наблюдения показывают, что форма свободной поверхности – границы жидкости с воздухом – зависит прежде всего от параметра δ , равного отношению высоты воды в ванне h к радиусу сливного отверстия r (рис.3). Если значение δ достаточно велико, то на свободной поверхности образуется небольшая впадина (см. рис.3,а). При уменьшении δ до некоторого критического значения δ^* полость вихря достигает дна впадины (см. рис.3,б), а затем проникает в вытекающую струю, образуя как бы полый вихрь (см. рис.3,в). На

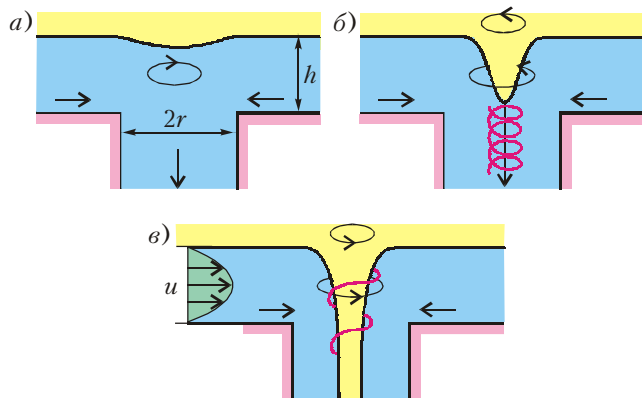


Рис.3. Три схемы истечения жидкости из отверстия: а) $\delta \geq \delta^*$, б) $\delta = \delta^*$, в) $\delta \leq \delta^*$

последнем рисунке слева приведено распределение горизонтальной скорости u по высоте слоя воды: максимум скорости расположен в центре струи, ноль – на дне ванны, где жидкость как бы прилипает к твердой границе.

Кроме параметра δ , на течение жидкости, конечно же, влияет и ее вязкость, но это влияние существенно лишь при малых значениях радиуса r , когда он составляет доли миллиметра (однако в этом случае полый вихрь не образуется).

В какую сторону вращается полый вихрь? Влияет ли, например, на направление вращения вихря сила Кориолиса, вызванная вращением Земли? Разумеется, влияет: в еще незакрученном течении на движущуюся с юга на север струю тока действует кориолисова сила, стремящаяся закрутить водоворот в северном полушарии против часовой стрелки, а в южном полушарии – по часовой стрелке. Теоретически эти рассуждения правильны. Однако реальное влияние вращения Земли на направление вращения вихря в ванне, как и на движение всех смерчевидных вихрей, оказывается пренебрежимо малым. Первопричиной «выбора» того или иного направления вращения является асимметрия в конструкции и установке ванны и в отводящих воду устройствах, и это влияние еще недостаточно изучено. Искусственно в одной и той же ванне можно вызвать вихрь как одного, так и другого направления.

Заметим, что воздух внутри водяной воронки тоже приводится во вращение – благодаря тому, что на свободной границе частицы воды увлекают за собой соседние частицы воздуха. Скорость u на свободной границе не равна нулю, поэтому вихрь в ванне является воздушно-водяным. Правда, из-за того что плотность воздуха почти в тысячу раз меньше плотности воды, его движение незаметно – оно может, разве что, сдуть пламя внесенной в воронку горячей спички.

В природе вихревые воронки часто наблюдаются в реках. На практике они применяются в суспензионном литье для ввода добавок в жидкий металл, а также в нефтехимической промышленности для удаления плавающих гранул со свободной поверхности. Опыты по поглощению воронкой твердых плавающих тел легко провести в ванне, используя для этих целей частицы различной массы (проделайте это самостоятельно). В результате таких опытов было обнаружено, что твердые плавающие частицы могут довольно устойчиво вращаться вокруг воронки, каждая по своему индивидуальному радиусу, не всплывая и не погружаясь.

Принципиально новое явление наблюдается в контейнере с водой, содержащим два симметрично расположенных сливных отверстия (рис. 4). В этом случае характеристики течения зависят еще от одного безразмерного параметра $\alpha = l/r$, где l – расстояние между отверстиями A и B (см. рис.4,а). При достаточно больших значениях α образуются два вихря (см. рис.4,б; вид сверху). Направления вращения вихрей противоположны – в плоскости симметрии CD вихри «сцепляются» друг с другом. При умеренных значениях α режимы попеременно чередуются: безвихревое истечение в окрестности отверстия B сменяется вихревым, а то время как вихревое истечение в окрестности отверстия A становится безвихревым, причем процесс оказывается почти периодическим по времени. Схема такого истечения в некоторый момент времени представлена на рисунке 4,в (вид сверху).

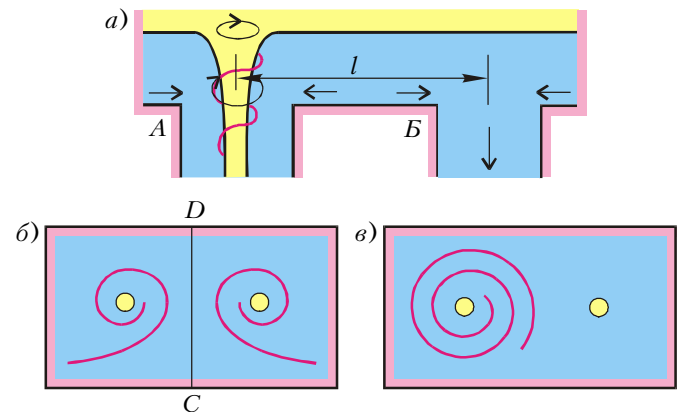


Рис.4. Истечение из сосуда с двумя отверстиями: а) один вихрь (вид сбоку), б) два вихря (вид сверху), в) один вихрь (вид сверху)

Что будет, если взять контейнер с тремя отверстиями, с четырьмя? Детали не известны, но ясно одно – разнообразие режимов увеличится, роль случайного начала усилится.

Взаимодействие вихревого и вращательного движений демонстрирует структурную сложность течений, неразделимость закономерного и непредсказуемого, познанного и непознанного, видимого и невидимого. Простые опыты по истечению жидкости подтверждают фундаментальный закон гидродинамики, в соответствии с которым течение перестраивается от простого стационарного к более сложному, а затем к нестационарному и даже к неупорядоченному.